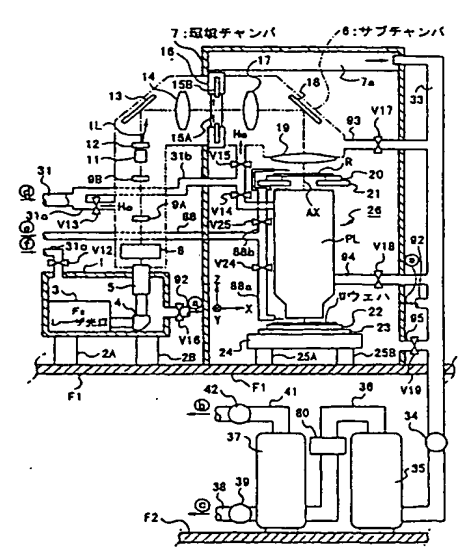


(51) 国際特許分類6 H01L 21/027, G03F 7/20	A1	(11) 国際公開番号 WO99/25010 (43) 国際公開日 1999年5月20日(20.05.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05073 (22) 国際出願日 1998年11月11日(11.11.98) (30) 優先権データ 特願平9/310439 1997年11月12日(12.11.97) JP 特願平9/326363 1997年11月27日(27.11.97) JP 特願平9/356680 1997年12月25日(25.12.97) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP) (72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてののみ) 馬込伸貴(MAGOME, Nobutaka)[JP/JP] 西川 仁(NISHIKAWA, Jin)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP) (74) 代理人 弁理士 志賀正武, 外(SHIGA, Masatake et al.) 〒169-8925 東京都新宿区高田馬場三丁目2番3号 ORビル Tokyo, (JP)		(81) 指定国 AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ユーロパ特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類 国際調査報告書
(54) Title: EXPOSURE APPARATUS, APPARATUS FOR MANUFACTURING DEVICES, AND METHOD OF MANUFACTURING EXPOSURE APPARATUSES (54) 発明の名称 露光装置、デバイス製造装置及び露光装置の製造方法 (57) Abstract An exposure apparatus having an illuminating system adapted to apply an exposure energy beam to a mask on which a transfer pattern is formed, and a stage system adapted to position a substrate onto which the pattern on the mask is transferred, characterized by comprising a gas supply unit provided in at least a part of an optical path of the exposure energy beam for supplying a gas of a high permeability with respect to the exposure energy beam and a high thermal conductivity, and a gas recovery unit for recovering at least a part of a gas diffused after it has been supplied from the gas supply unit to the optical path of the exposure energy beam.  <div style="text-align: right;"><small>3 ... F1, LASER BEAM SOURCE 6 ... SUBCHAMBER 7 ... ENVIRONMENT CHAMBER 4 ... MASK</small></div>		

(57)要約

本発明の露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスクに露光エネルギービームを照射する照明系と、マスクのパターンが転写される基板を位置決めするステージ系と、を有し、露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に、露光エネルギービームに対する透過率が高く、かつ熱伝導率の良好な気体を供給する気体供給装置と、気体供給装置から露光エネルギービームの光路上に供給された後に拡散する気体の少なくとも一部を回収する気体回収装置とを備えたことを特徴とする。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GN	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GM	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサオ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MW	マラウイ	US	米国
CC	中央アフリカ	IE	アイルランド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CF	コンゴ	IL	イスラエル	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボワール	IS	アイスランド	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CM	カメルーン	IT	イタリア	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CN	中国	JP	日本	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	RO	ルーマニア		
CZ	チェコ	KP	北朝鮮	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KR	韓国	SD	スーダン		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SE	スウェーデン		
EE	エストニア	LC	セントルシア				

明 細 書

露光装置、デバイス製造装置及び露光装置の製造方法

技術分野

本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、又は薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスを製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを基板上に転写するために使用される露光装置、デバイス製造装置及び露光装置の製造方法に関し、例えば波長400nm程度以下の紫外域、特に波長200nm程度以下の真空紫外域（VUV）の露光光を使用する場合に使用して好適なものである。

背景技術

例えば半導体デバイスを製造する際に使用されるステッパー等の露光装置においては、半導体デバイスの集積度及び微細度の向上に対応するため、特に解像力を高めることが要求されている。その解像力は、ほぼ露光光の波長に比例するため、従来より露光波長は次第に短波長化されている。即ち、露光光は水銀ランプの可視域のg線（波長436nm）から紫外域のi線（波長365nm）へと代わり、最近ではKrFエキシマレーザ光（波長248nm）が使用されるようになってきている。そして、現在は、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）、F₂レーザ光（波長157nm）、更にはAr₂レーザ光（波長126nm）の使用が検討されている。更に、従来からのX線リソグラフィの研究によって、いわゆる極端紫外（EUV、又はXUV）域の殆どX線に近い波長13nm、11nm、又は7nm等の光、更には波長1nm程度のX線等の使用も検討されている。

しかし、ArFエキシマレーザ光程度以下の波長域、即ちほぼ200nm程度以下の真空紫外域（VUV）では、空気中の酸素による吸収が起こってオゾンが発生し、透過率が低下してしまう。そこで、例えばArFエキシマレーザ光を使

用する露光装置では、露光光の光路の大部分の気体を窒素で置き換える、いわゆる窒素パージが行われる。更に、 F_2 レーザ程度以下の波長域では窒素でも吸収がある。この場合、窒素を通過する領域がごく狭い領域であれば、その吸収量は少なく露光には支障があまりないが、長い光路では光量が減少して適正な露光量が得られなくなる。そこで、ArFエキシマレーザの波長よりも短い波長域（190 nm程度以下）、特に F_2 レーザの波長程度以下の波長域の光を使用する場合には、その光の光路の大部分をその光を透過する別の気体（窒素以外の不活性ガス）で置き換えるか、又は真空にする必要がある。

一方、露光光が照明光学系、及び投影光学系中のレンズやミラー等の光学素子を通過する際に、これらの光学素子においても熱エネルギーの吸収がある。このように吸収される熱エネルギーによって光学素子が熱膨張すると、倍率変化や焦点ずれ等の結像性能の劣化を招くことになる。そこで、このような結像性能の劣化を防止するために、従来より所定のレンズ間の空間内に温度制御された気体を流したり、レンズの側面やミラーの裏面等を空冷、又は液冷したりする廃熱処理が行われている。最近では、結像性能の安定性に対する要求も高まっているため、廃熱処理についても一層高いレベルの処理が必要となっている。

上記の如く、露光装置において、190 nm程度以下の波長域の露光光を使用する場合には、その光路の大部分を窒素よりも吸収率の小さい気体で置き換えるか、又は真空にすることが望ましい。ところが、後者のように光路の大部分を真空にするのでは、露光装置の製造コストが上昇すると共に、露光装置のスループットが低下する。また、露光装置においては、露光光の熱エネルギーをより効率的に廃熱することも求められている。

これらの問題に同時に対処するには、露光光の光路の大部分に不活性で透過率が高く、熱伝導率が良好で（即ち、原子量が小さい）あると共に、温度制御された気体を供給すればよい。現状で、そのように不活性で熱伝導率が良好であり、かつ安全な気体として最も高性能な気体はヘリウム（He）である。しかしながら、ヘリウムは地殻や大気中での存在度が極めて低く高価であるため、使用量が増えると露光装置の運転コストが上昇するという不都合がある。また、ヘリウムは原子量が小さいために露光装置の光路を覆うカバー等の隙間から漏れ易く、単

にそのカバー内にヘリウムを循環させるのみでは、次第にヘリウムが減少するという不都合があった。

本発明は斯かる点に鑑み、露光エネルギービーム（露光光）の光路の少なくとも一部に高透過率（不活性）で熱伝導率が良好な気体を供給する場合に、その気体の使用量を抑制できる露光装置及びデバイス製造装置を提供することを目的とする。

また、上記の如く、露光装置において、波長が200nm程度以下の露光光を使用する際に、その露光光の光路を真空にしない場合には、その露光光の光路の大部分を窒素等の透過率の良好な気体で置き換える必要がある。また、波長が250～200nm程度であっても、良好な透過率を得るためにはその露光光の光路は窒素等で置き換えることが望ましい。

これに関して、露光装置は通常気密性の良好な箱状のチャンバ内に収納されていると共に、露光装置にはレチクルやウエハ等の位置決めを高精度に行うために、ガイド面に沿ってエア－ベアリング方式で非接触に摺動するステージ系が備えられている。そのため、それらのステージ系を使用していると、ガイド面に沿って噴出される圧縮空気がチャンバ内に漏れ出て、この空気が露光光の光路の窒素等の透過率の良好な気体に混入することから、次第に露光光に対する透過率が低下するという不都合があった。このように透過率が低下すると、ウエハ上での照度が低下するため、適正露光量を得るためには露光時間を長くする必要が生じて、露光工程のスループットが低下してしまう。

また、露光装置には、ステージ系以外にも空気を用いて位置決めや防振等を行う機器が備えられているが、これらの機器から発生する空気も露光光の透過率を低下させる恐れがある。

本発明は斯かる点に鑑み、露光エネルギービーム（露光光）の光路の少なくとも一部に所定の透過率の高い気体を供給する場合に、その露光エネルギービームを高い利用効率でウエハ等の露光対象の基板まで導くことができる露光装置を提供することを目的とする。

さらに、本発明者等は、エキシマレーザ光源を用いた比較的フィールドサイズの大きい投影露光装置によって各種の露光実験を行なったところ、例えば350

nm以下の紫外波長域の照明光（波長248nmのKrFエキシマレーザ、或いは波長193nmのArFエキシマレーザ等）の照射によって、投影光学系内の光学素子、或いは光学素子のコート材（たとえば反射防止膜等の薄膜）の透過率または反射率がダイナミックに変動するといった新たな現象を発見した。このような透過率がダイナミックに変動する現象は、投影光学系内の光学素子のみならず、レチクルを照明する照明光学系、またはクリーンルームの床下に配置される光源から射出される照明光を露光装置本体内の照明光学系に導く送光系内の光学素子やレチクル（石英板）自体についても全く同様に発生し得ることが判明した。なお、本明細書において、送光系を含めて照明光学系と呼ぶものとする。

このような現象は、投影光路内や照明光路内の空間に存在する気体（空気、窒素ガス等）中に含まれる不純物、光学素子を鏡筒に固定するための接着剤または充填材等から発生する有機物質の分子、或いはその鏡筒の内壁（反射防止用の塗装面等）から発生する不純物（たとえば水分子、ハイドロカーボンの分子、またはこれら以外の照明光を拡散する物質）が光学素子の表面に付着したり、照明光路内に進入（浮遊）することで生じるものと考えられる。その結果、投影光学系や照明光学系の透過率または反射率が比較的短時間のうちに大きく変動するといった重大な問題が起こる。

本発明の目的は、投影光学系や照明光学系を構成するレンズや反射鏡などの光学素子を接着剤又は充填材を使用せず保持するようにした投影露光装置を提供することにある。

発明の開示

本発明による露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスクに露光エネルギービームを照射する照明系（3, 11, 13, 14, 17～19）と、そのマスクのパターンが転写される基板を位置決めするステージ系（20～24）と、を有する露光装置において、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に、その露光エネルギービームに対する透過率が高く、かつ熱伝導率の良好な気体を供給する気体供給装置（31, 43, 46）と、この気体供給装置からその

露光エネルギービームの光路上に供給された後に拡散するその気体の少なくとも一部を回収する気体回収装置（33～37, 41, 42）と、を備えたものである。

斯かる本発明によれば、その光路上に供給されたその気体の一部は回収されて再使用（リサイクル）することができるため、その気体の使用量を抑制できる。従って、その気体が高価である場合に運転コストが低下する。

この場合、その気体の一例はヘリウム（He）である。ヘリウムは、安全であり、150nm程度以下の波長域の露光光を使用する場合でも透過率が高いと共に、熱伝導率が窒素（N₂）の約6倍程度と高いため、光学素子に対する冷却効果が高い。

また、その気体回収装置が例えば空気中に拡散したヘリウムを回収する場合、混合気体中の酸素は酸素吸収材で処理し、窒素は冷却することでヘリウムと分離できるため、残されたヘリウムを回収すればよい。又は、その混合気体を液体空気温度まで冷却し、生成された液体を除去することで、まだ気体のままのヘリウムのみを容易に回収できる。

また、その気体回収装置は、複数の露光装置で共用されることが望ましい。これによって、その気体回収装置の設備費が低減される。

また、その気体回収装置で回収されたその気体をその気体供給装置の少なくとも一部（31, 43）を介してその露光エネルギービームの光路上に再循環させることが望ましい。

また、その気体供給装置は、一例としてその気体回収装置から供給されるその気体の濃度を計測する濃度計（44）と、その気体が気体の状態、又は液化された状態で封入された気体源（46）と、その濃度計の計測結果に応じて気体源（46）からの気体をその気体回収装置から供給される気体に補充する制御部（43, 45, 48）と、を有するものである。その制御部は、その濃度計で計測されるその気体の濃度が所定の許容レベルより低くなったときに、その気体源からの気体を補充する。これによって、その気体源内の気体を無駄に使用することがなくなる。

また、その気体供給装置は、別の例としてその気体を液化保存、又は高圧保存

する気体源（４６）と、この気体源内の液化ガス、又は高圧ガスをその気体に戻す変換装置と、その気体源からその気体はその露光装置に供給される前にその気体の温度、及び圧力を調整する調整装置（４３）とを有するものである。これによって、その気体を狭い空間に大量に保存できる。

また、その気体回収装置は、その回収した気体を液化、又は高圧化して保存することが望ましい。これによってその気体を大量に狭い空間に保存できる。

また、本発明によるデバイス製造装置は、本発明による露光装置を含む複数の露光装置を有し、これら複数の露光装置で複数のデバイスパターンを露光対象の基板上に重ね合わせて転写してマイクロデバイスを製造するものである。この場合にも、その気体の使用量が抑制できる。

本発明による露光装置は、所定の露光エネルギービームでマスク（Ｒ）を照明し、そのマスクに形成されたパターンを基板（Ｗ）上に転写する露光装置において、制御用の第１の気体を用いて所定の動作（位置決め、防振等）を行う気体制御式駆動装置（１２３，１２５Ａ）を備え、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に透過率の良好な第２の気体を供給すると共に、その気体制御式駆動装置用のその第１の気体として、その第２の気体と同じ種類の気体を使用するものである。

斯かる本発明によれば、その気体制御式駆動装置を駆動する際に排気される気体は、その露光エネルギービームに対する透過率の良好な第２の気体と同じ種類の気体であるため、その露光エネルギービームの光路上に供給されるその第２の気体の濃度が次第に低下することがなくなる。従って、その露光エネルギービームに対する透過率が次第に低下することがなくなり、その露光エネルギービームを高い利用効率でその基板に導くことができる。

この場合、その気体制御式駆動装置の一例は、気体軸受け方式でガイド面と接触するステージ装置（１２３）、気体式のシリンダ装置、又は気体を緩衝材の一部に使用する防振台（１２５Ａ）である。また、露光装置は通常箱状のチャンバ内に収納されて使用されるため、それらの気体制御式駆動装置よりその第２の気体と異なる種類の気体が排出されると、そのチャンバ内でその露光エネルギービームの透過率が次第に低下するが、本発明によれば、そのチャンバ内でのその露

光エネルギービームの透過率の低下が防止される。

また、その露光エネルギービームが250 nm以下の波長の紫外光である場合に、その第2の気体は窒素 (N_2)、又はヘリウム (He) であることが望ましい。特に波長が250～200 nm程度までは窒素の透過率が良好であるため、安価な窒素を使用することができる。また、これらの気体であれば、不活性であるため、光学素子の表面に曇り物質等が生成されることもなくなる。

また、その露光エネルギービームが200 nm以下の波長の紫外光である場合に、その第2の気体はヘリウムであることが望ましい。ヘリウムはそのような短波長の光に対する透過率が高い他に、熱伝導率が特に良好であるため、光学部材等の冷却能力が高い。更に、波長200 nm以下の波長の一例として波長193 nmのArFエキシマレーザ光を露光エネルギービームとして使用し、かつ反射屈折系よりなる投影光学系を使用する場合、反射屈折系は屈折系に比べてレンズ枚数が少なくなり、レンズ間隔が広くなるため、大気圧変動の影響を受け易くなっている。そこで、その反射屈折系よりなる投影光学系の内部を、気圧変化に対する屈折率の変化の割合が窒素に比べてかなり小さいヘリウムでパージすることによって、結像特性の変動量を小さく抑制できる。

また、露光エネルギービームがX線（例えば波長10 nm～1 nm程度）である場合に、その第2の気体の一例は窒素、又はヘリウムである。X線であっても短い距離であれば、減衰量は低く抑えられる。

本発明による露光装置（投影露光装置）は、保持部材に保持される複数の光学素子（9A, 9B, 11…（109A, 109B, 111…））を有し、照明光源からの照明光をマスクに照射する照明光学系と、保持部材に保持される複数の光学素子（L201, L202…）を有し、マスク（原版）上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系（PL）とを備える。そして、接着剤を用いることなく上記光学素子のすべてを押し付け機構を用いて保持部材に保持することにより、上記目的を達成する。

また、その押し付け機構は、一例として、一端を保持部材（251）の内周部に固定し、他端で光学素子（L201, L202）の外周部を押圧する板ばね（261）としたものである。

また、その押し付け機構は、別の例として保持部材（２５２）の内周部に刻設したねじ部に螺合し、螺進させて光学素子（Ｌ２０３～Ｌ２０５）の外周部を押圧するねじ環（２６３）としたものである。

また、本発明による露光装置（投影露光装置）は、複数のロッドレンズ（Ｌ２６０）を束ねたフライアイレンズ（１１，１１１）を含む複数の光学素子（２０４，２０５，２０６…）を有し、照明光源（２０１）からの照明光をマスクに照射する照明光学系（２３２）と、保持部材に保持される複数の光学素子（Ｌ２０１，Ｌ２０２…）を有し、マスク（原版）上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系とを備える。そして、接着剤を用いることなく複数のロッドレンズ（Ｌ２６０）を保持装置（２８０）で束ねたことにより、上記目的を達成する。

また、本発明による露光装置の製造方法では、露光エネルギービームの光路の少なくとも一部をほぼ密封する気体室に、露光エネルギービームの減衰を低減する気体を供給する供給管を接続し、気体室に供給される気体の少なくとも一部を回収する回収管を、気体室と、気体室が配置される筐体との少なくとも一方に接続することを特徴とする。そして、回収される気体から不純物を除去する除去装置に回収管を接続するとともに、除去装置と供給管とを接続する。また、露光エネルギービームが通る光学素子を、接着剤を用いることなく保持部材に固定して露光装置に組み込む。さらに、露光装置に設けられ、気体と光学的な特性が実質的に同じである気体を用いる気体制御式駆動装置と、該気体の供給源とを接続することを特徴とする。

斯かる本発明によれば、その光路上に供給されたその気体の一部は回収されて再使用（リサイクル）することができるため、その気体の使用量を抑制でき、運転コストを低下させることができる露光装置を製造することができる。

なお、本発明の構成を説明する発明の開示の項では、本発明を分かり易くするために発明の実施例の図を用いたが、これにより本発明が発明の実施例に限定されるものではない。

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態の投影露光装置、ヘリウム循環装置の一部、及び窒素循環装置の一部を示す一部を切り欠いた概略構成図である。

図 2 は、その実施の形態のヘリウム循環装置及び窒素循環装置の主要部を示す一部を切り欠いた概略構成図である。

図 3 は、本発明の第 2 の実施の形態の複数台の投影露光装置、及び 1 台のヘリウム回収装置を示す一部を断面図とした概略構成図である。

図 4 は、本発明の第 1 の実施の形態の投影露光装置の変形例を示す一部を断面図とした概略構成図である。

図 5 は、本発明の第 3 の実施の形態の一例の投影露光装置、及びヘリウム供給装置を示す一部を断面図とした概略構成図である。

図 6 は、図 5 中のウエハステージの主要部を X 方向から見た断面図である。

図 7 は、投影光学系のレンズを板ばねで保持する場合の概念である。

図 8 は、板ばねを用いた押し付け機構の詳細図である。

図 9 は、フライアイレンズの詳細を示す斜視図である。

図 10 (a) はフライアイレンズの上面図、図 10 (b) は正面図、図 10 (c) は側面図である。

実施例

以下、本発明の第 1 の実施の形態につき図 1 及び図 2 を参照して説明する。本例は、露光光の光路の大部分にヘリウムガスが供給される半導体デバイス製造用の投影露光装置に本発明を適用したものである。

図 1 は、本例の投影露光装置、及びヘリウム循環装置の一部の概略構成を示し、図 2 はそのヘリウム循環装置の主要部の概略構成を示し、図 1 及び図 2 において、半導体製造工場の或る階の床 F 1 上のクリーンルーム内に投影露光装置が設置され、その階下の床 F 2 上のいわゆる機械室（ユーティリティスペース）内に、階上の投影露光装置にヘリウムガスを供給し、更に回収するヘリウム循環装置が設置されている。このように発塵し易いと共に、振動発生源となり易い装置を、投影露光装置が設置されている階と別の階に設置することによって、投影露光装置

が設置されているクリーンルーム内の清浄度を極めて高く設定できると共に、投影露光装置に対する振動の影響を小さくできる。

但し、ヘリウムガスは軽くて上昇し易いため、本例のヘリウム循環装置を、投影露光装置が設置されている階の階上に置いても構わない。また、ヘリウム循環装置内の後述の供給装置は床F2上に配置し、回収装置は床F1又はその階上に配置するというように、ヘリウム循環装置を部分毎に異なる階上に設置してもよい。

先ず、図1の床F1上のクリーンルーム内において、防振台2A、2Bを介して箱状のケース1が設置され、ケース1内に露光光源としてのF₂レーザ光源3（発振波長157nm）、露光本体部との間で光路を位置的にマッチングさせるための可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）4、及び遮光性の材料から形成され内部を露光光が通過するパイプ5が設置されている。また、ケース1の隣に箱状の気密性の良好な環境チャンバ7が設置され、環境チャンバ7内で床F1上に床からの振動を減衰するための防振台25A、25Bを介して定盤24が設置され、定盤24上に露光本体部26が設置されている。また、ケース1内から突き出ているパイプ5から環境チャンバ7の内部まで気密性の良好なサブチャンバ6が架設され、サブチャンバ6内に照明光学系の大部分が収納されている。

なお、F₂レーザ光源3を床F1の階下の床F2上に配置してもよい。この場合、床F1上のクリーンルーム内での投影露光装置による専有面積（フットプリント）を小さくできると共に、露光本体部26への振動の影響も小さくできる。

また、露光エネルギービーム（露光光）として、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）、若しくはKrFエキシマレーザ光（波長248nm）、又はX線等を使用する場合でも、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部にヘリウム等を供給するような場合には、本発明が適用できる。また、本例の露光本体部26は、以下で説明するように走査露光型、例えばステップ・アンド・スキャン方式であるが、一括露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式であっても本発明が適用されるのは言うまでもない。

先ず、露光時に、ケース1内のF₂レーザ光源3から射出された露光光として

の波長157 nmの紫外パルス光I Lは、BMU 4及びパイプ5の内部を経てサブチャンバ6内に至る。サブチャンバ6内において、紫外パルス光I Lは、光アッテネータとしての可変減光器8、レンズ系9 A、9 Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ11に入射する。フライアイレンズ11の射出面には照明条件を種々に変更するための照明系の開口絞り系12が配置されている。

フライアイレンズ11から射出されて開口絞り系12中の所定の開口絞りを通過した紫外パルス光I Lは、反射ミラー13、及びコンデンサレンズ系14を経てレチクルブラインド機構16内のスリット状の開口部を有する固定照明視野絞り（固定ブラインド）15 Aに入射する。更に、レチクルブラインド機構16内には、固定ブラインド15 Aとは別に照明視野領域の走査方向の幅を可変とするための可動ブラインド15 Bが設けられ、この可動ブラインド15 Bによってレチクルステージの走査方向の移動ストロークの低減、及びレチクルRの遮光帯の幅の低減を図っている。

レチクルブラインド機構16の固定ブラインド15 Aでスリット状に整形された紫外パルス光I Lは、結像用レンズ系17、反射ミラー18、及び主コンデンサレンズ系19を介して、レチクルRの回路パターン領域上のスリット状の照明領域を一様な強度分布で照射する。本例では、遮光性の材料からなるパイプ5の射出面から主コンデンサレンズ系19までがサブチャンバ6内に収納され、更にパイプ5の内部からF₂ レーザ光源3の射出面までの空間も密閉されて、サブチャンバ6内の空間に連通している。そして、サブチャンバ6内の空間には、階下のヘリウム循環装置から配管31の分岐管31 a、及び分岐管31 bを介して2箇所で所定の純度以上で温度制御されたヘリウムガス（He）が供給されている。但し、ヘリウムは分子量が小さく漏れ易いため、サブチャンバ6から自然に漏れ出たヘリウムの一部は上昇して環境チャンバ7の天井近傍の空間7 aに溜まる。

図2に示すように、配管31には開閉バルブV11が設けられており、制御系45によって開閉バルブV11の開閉を制御することで、投影露光装置へのヘリウムガスの供給、及びその停止を切り換えることができる。図1に戻り、配管31の分岐管31 aには開閉バルブV13が設けられ、分岐管31 bには投影光学系PLとの間に開閉バルブV14が、照明光学系（サブチャンバ6）との間に開

閉バルブV 1 5がそれぞれ設けられている。また、配管3 1の別の分岐管3 1 c (図2参照)、及び開閉バルブV 1 2を介して、F₂ レーザ光源3、及びBMU 4などが収納されたケース1内に、所定純度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給される。そして、図2の制御系4 5によって開閉バルブV 1 2～V 1 5をそれぞれ独立に開閉することで、ケース1、サブチャンバ6 (照明光学系)、及び投影光学系PLの内の所望の少なくとも1つにヘリウムガスを供給することが可能となっている。

紫外パルス光I Lのもとで、レチクルRの照明領域内の回路パターンの像が投影光学系PLを介してウエハ (wafer) W上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域内の1つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系PLは、ジオプトリック系 (屈折系) であるが、このような短波長の紫外光を透過できる硝材は限られているため、投影光学系PLをカタジオプトリック系 (反射屈折系)、又は反射系として、投影光学系PLでの紫外パルス光I Lの透過率を高めるようにしてもよい。以下では、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図1の紙面に平行にX軸、図1の紙面に垂直にY軸を取って説明する。

このとき、レチクルRは、レチクルステージ2 0上に吸着保持され、レチクルステージ2 0は、レチクルベース2 1上にX方向 (走査方向) に等速移動できると共に、X方向、Y方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ2 0 (レチクルR) の2次元的な位置、及び回転角は、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。

一方、ウエハWはウエハホルダ2 2上に吸着保持され、ウエハホルダ2 2はウエハステージ2 3上に固定され、ウエハステージ2 3は定盤2 4上に載置されている。ウエハステージ2 3は、オートフォーカス方式でウエハWのフォーカス位置 (Z方向の位置)、及び傾斜角を制御してウエハWの表面を投影光学系PLの像面に合わせ込むと共に、ウエハWのX方向への等速走査、及びX方向、Y方向へのステッピングを行う。ウエハステージ2 3 (ウエハW) の2次元的な位置、及び回転角も、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。走査露光時には、レチクルステージ2 0を介して紫外パルス光I Lの照明領

域に対してレチクルRが+X方向（又は-X方向）に速度 V_r で走査されるのに同期して、ウエハステージ23を介して露光領域に対してウエハWが-X方向（又は+X方向）に速度 $\beta \cdot V_r$ （ β はレチクルRからウエハWへの投影倍率）で走査される。

また、サブチャンバ6内と同様に本例の投影光学系PLの鏡筒内部の空間（複数のレンズ素子間の空間）の全体にも、階下のヘリウム循環装置より配管31の分岐管31b、及び開閉バルブV14を介して、所定の濃度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給されている。投影光学系PLの鏡筒から漏れ出るヘリウムも上昇して、環境チャンバ7の天井付近の空間7aに溜まる。

更に、本例では、環境チャンバ7の内部に階下の窒素循環装置（33～40，82～87，89など）から、配管88を介して酸素の含有量を極めて低く抑えると共に、温度及び圧力制御された窒素ガス（ N_2 ）が供給されている。そして、環境チャンバ7内を循環した窒素ガスは、例えば環境チャンバ7の底面側の排気孔（不図示）、及びその環境チャンバ7の側面に接続された配管95を介して配管33に回収され、回収された窒素ガスは後述のようにその窒素循環装置に戻されている。配管95の途中には開閉バルブV19が設けられている。

このように本例では、 F_2 レーザ光源3の射出面から主コンデンサレンズ系19までの紫外パルス光ILの光路、及び投影光学系PL内の紫外パルス光ILの光路に、190nm程度以下の光に対しても高い透過率を有するヘリウムガスが供給されている。また、主コンデンサレンズ系19から投影光学系PLの入射面まで、及び投影光学系PLの射出面からウエハWの表面までは、190nm程度以下の光に対してはあまり透過率の良くない窒素ガスが供給されているが、その窒素ガス内を通過する光路は極めて短いため、窒素ガスによる吸収量も僅かである。なお、窒素ガスは通常の空気（主に酸素）に比べて200nm～150nm程度の波長の光に対する透過率が高く、かつ窒素ガスは大気中に多く存在してヘリウムガスに比べて安価であるため、特に短い光路の部分に使用する際のコストパフォーマンスが優れている。従って、 F_2 レーザ光源3から射出された紫外パルス光ILは、全体として高い透過率（利用効率）でウエハWの表面に達するため、露光時間（走査露光時間）を短縮でき、露光工程のスループットが向上する。

また、ヘリウムは窒素に比べて熱伝導率が6倍程度良好であるため、F₂レーザ光源3内の光学素子、照明光学系内の光学素子、及び投影光学系PLの光学素子において紫外パルス光1Lの照射によって蓄積された熱エネルギーは、ヘリウムガスを介して効率的にそれぞれケース1、サブチャンバ6のカバー、及び投影光学系PLの鏡筒に伝導する。また、ケース1、サブチャンバ6のカバー、及び投影光学系PLの鏡筒の熱エネルギーは、クリーンルーム内の温度制御された空気、又は環境チャンバ7内の温度制御された窒素ガスによって階下等の外部に効率的に廃熱される。従って、照明光学系、及び投影光学系PLの光学素子の温度上昇が極めて低く抑えられて、結像性能の劣化が最小限に抑制される。更に、ヘリウムは気圧変化に対する屈折率の変化量が極めて少ないため、例えば投影光学系PL内での屈折率変化量が極めて少なくなり、この面でも安定な結像性能が維持される。

次に、本例のヘリウム循環装置につき詳細に説明する。環境チャンバ7内で、サブチャンバ6から漏れ出たヘリウム、及び投影光学系PLから漏れ出たヘリウムは、窒素に比べて軽いため上昇して天井近傍の空間7aに溜まる。但し、空間7a内の気体は、ヘリウムの他に窒素や、環境チャンバ7の外部から入り込む空気が混じった混合気体である。

本例では、環境チャンバ7の外部からその空間7aに配管33が接続され、配管33は、床F1に設けられた開口を通過して階下のヘリウム循環装置に通じている。更に、ケース1は配管92によって配管33と接続されており、配管92の途中には開閉バルブV16が設けられている。また、照明光学系が収納されたサブチャンバ6、及び投影光学系PL内でヘリウムが供給される空間もそれぞれ配管93及び94によって配管33と接続され、配管93及び94の途中にはそれぞれ開閉バルブV17及びV18が設けられている。従って、図2の制御系45によって開閉バルブV16、V17、V18をそれぞれ独立に開閉することで、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの内の所望の少なくとも1つから、有機物や塵埃などを含んだヘリウムガスを回収することが可能となっている。

また、床F1の底面側の配管33の途中に吸引用のポンプ（又はファン）34が配置されており、配管33、及びポンプ34によってその空間7a、及びケー

ス1の内部等から吸引された混合気体は、階下のヘリウム循環装置に向かう。そして、ポンプ34を通過した混合気体は集塵排水装置35に達し、ここで後の断熱圧縮冷却の通路の目詰まり避けるために、微少な塵埃、及び水分が除去される。即ち、集塵排水装置35には、例えばHEPAフィルタ (high efficiency particulate air-filter)、又はULPAフィルタ (ultra low penetration air-filter) が備えられている。

更に、集塵排水装置35で塵埃や水分などが除去された混合気体は配管36を通って不純物除去装置80に達し、ここで混合気体に含まれる塵埃及び水分以外の不純物 (汚染物質) が除去される。ここで除去される不純物は、F₂ レーザ光源3、照明光学系、及び投影光学系PLの光学素子の表面に付着してその曇りの原因となる物質、あるいは露光光の光路内に浮遊して照明光学系や投影光学系PLの透過率 (照度) 若しくは照度分布などを変動させる物質、又はウエハW (レジスト) の表面に付着して現像処理後のパターン像を変形させる物質などである。

本例の不純物除去装置80としては、活性炭フィルタ (例えば、ニッタ株式会社製のギガソープ (商品名))、又はゼオライトフィルタ、あるいはこれらを組み合わせたフィルタが使用できる。これにより、環境チャンバ7、照明光学系、及び投影光学系PLの内部に存在するシロキサン (siloxane: Si-Oの鎖が軸となる物質) 又はシラザン (silazane: Si-Nの鎖が軸となる物質) などのシリコン系有機物が除去される。

ここで、シロキサンの1つである、Si-Oの鎖が軸となった「環状シロキサン」という物質が、投影露光装置で用いられるシリコン系の接着剤、シーリング剤、塗料等に含まれており、これが経年変化により脱ガスとして発生する。環状シロキサンは、感光基板や光学素子 (レンズなど) の表面に付着し易く、更に紫外光が当たると酸化されて、光学素子表面におけるSiO₂系の曇り物質となる。

また、シラザンとしては、レジスト塗布工程で前処理剤として用いられるヘキサ・メチル・ジ・シラザン (hexamethyldisilazane: 以下「HMDS」という) がある。HMDSは、水と反応してシラノール (silanol) という物質に変化 (加水分解) する。シラノールは、感光基板や光学素子などの表面に付着し易く、更に紫外光が当たると酸化されて、光学素子表面におけるSiO₂系の曇り物質と

濃度（又は純度）を計測するためのヘリウム濃度計 4 4 が設置され、この測定データがコンピュータよりなる制御系 4 5 に供給されている。制御系 4 5 は、ヘリウム濃度計 4 4 で測定される回収されたヘリウムの濃度が所定の許容値に達しないときに、開閉バルブ 4 8 を開放して、ポンペ 4 6 から混合温調装置 4 3 内に高純度のヘリウムを加える。そして、ヘリウム濃度計 4 4 で測定されるヘリウム濃度がその許容値以上であるときには、制御系 4 5 は開閉バルブ 4 8 を閉じる。また、露光動作が行われない期間でも、開閉バルブ 4 8 は閉じられている。なお、ヘリウム濃度計の代わりに酸素濃度を検出するセンサを用いるようにし、酸素濃度がその許容値以下であるときには開閉バルブ 4 8 を閉じておくように制御してもよい。

更に、混合温調装置 4 3 は、回収されたヘリウム、及びポンペ 4 6 からのヘリウムを所定の気圧範囲内で混合してから所定の温度及び湿度に制御し、温度、圧力、及び湿度が制御されたヘリウムを配管 3 1 に供給する。集塵排水装置 3 5 から混合温調装置 4 3 までが本例のヘリウム循環装置を構成している。また、配管 3 1 は、上階の床 F 1 に設けられた開口を通過して上階のクリーンルーム内に達していると共に、配管 3 1 の途中で、かつ床 F 1 の底面側に送風用のポンプ（又はファン） 3 2 が設置され、床 F 1 の上面側に開閉バルブ V 1 1 が設置されている。そして、混合温調装置 4 3 によって所定の気圧の範囲内で、所定の濃度以上であると共に、所定の温度、圧力、及び湿度に制御されたヘリウムガスは、配管 3 1 に供給された後、ポンプ 3 2 によって送風されながら配管 3 1 の分岐管 3 1 a, 3 1 b 及び 3 1 c を介して、図 1 の床 F 1 上の投影露光装置のサブチャンバ 6 内、投影光学系 P L 内、及びケース 1 内にそれぞれ供給されている。

また、図 2 において、配管 3 1 内の開閉バルブ V 1 1 よりも上流側（ポンプ 3 2 側）に、ヘリウムガスに混入している不純物（前述のシリコン系有機物などを含む）の濃度を検出する不純物濃度計 9 0 が配置されており、その測定値に基づいて制御系 4 5 が開閉バルブ V 1 1 の開閉、即ちヘリウムの供給、及びその停止を制御している。この不純物濃度計 9 0 で計測される不純物の濃度が所定の許容値以上となったときは、開閉バルブ V 1 1 を閉じて投影露光装置へのヘリウムの供給を停止し、例えば図 1 の不純物除去装置 8 0 のフィルタ交換を行う。あるい

は回収したヘリウムを不純物と共にそのヘリウム循環装置外に放出する。しかる後、開閉バルブV 1 1を開けてヘリウムの供給を再開すると共に、図1の開閉バルブV 1 2～V 1 8も開けてヘリウムを循環させる。そして、一例として不純物の濃度が許容値よりも低いことが確認された時点で開閉バルブV 1 6～V 1 8を閉じる。更に、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P L内のヘリウムの濃度がそれぞれ所定値に達した時点で開閉バルブV 1 2～V 1 5を順次閉じていく。

そして、図1のウエハステージ2 3に設けられた光検出器（不図示）を用いて、投影光学系P Lの露光光（紫外パルス光I L）に対する透過率（又はウエハW上での照度）、更にはレチクルR又はウエハW上での照度分布を検出し、これらの検出結果に基づいてウエハWへの露光を開始する。なお、前述のフィルタ交換、又は回収したヘリウムの放出の代わりに、回収したヘリウムを保存するためのボンベ（後述の図3中のボンベ5 0に相当する）を別のボンベと交換し、別の再生工場などでその純度を高めるようにし、環境チャンバ7にはボンベ4 6内の高純度のヘリウムを供給するようにしてもよい。また、不純物濃度計9 0は配管3 1の内部以外の位置に配置してもよく、例えば配管4 1内、又は配管3 6内で不純物除去装置8 0よりも下流側に配置してもよい。

更に、本例の投影露光装置の稼働の立ち上げ時、若しくは長時間停止後の再稼働時、あるいは照明光学系、及び投影光学系P Lの光洗浄開始時、若しくはその終了後などでは、図2の制御系4 5によって配管3 1の開閉バルブV 1 1を閉じ、かつ図1の配管9 2～9 4の開閉バルブV 1 6～V 1 8を開けた状態で、ポンプ3 4によってケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P L内の気体（ヘリウムなど）を吸引するものとする。このとき、環境チャンバ7の上部空間7 a内の混合気体が配管3 3に流入しないように、配管3 3の流入口付近に設けられる開閉バルブ（不図示）を閉じておくことが望ましい。しかる後、開閉バルブV 1 6～V 1 8を閉じると共に、開閉バルブV 1 1を開けてケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lにそれぞれヘリウムを供給し、その内部でのヘリウム濃度が所定値に達したもののから順に対応する開閉バルブV 1 2～V 1 5を閉じていき、開閉バルブV 1 2～V 1 5が全て閉じられた後でバルブV 1 1を閉じる。これに

より、ウエハWの露光動作、又はその準備動作などの開始が可能となる。

図示していないが、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの内部にはそれぞれヘリウム濃度計又は酸素濃度計が設けられており、制御系45はこの濃度計の出力に基づいて開閉バルブV12～V15の開閉を制御する。このとき、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLでそれぞれヘリウムの濃度がその許容値に達する、あるいは酸素濃度がその許容値以下となるまでF₂レーザ光源3の発振、即ちウエハWの露光が禁止されるようになっている。なお、環境チャンバ7内、特に照明光学系（コンデンサーレンズ19）と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間にそれぞれ窒素濃度計又は酸素濃度計を配置し、更にこの濃度計の出力を併用して前述と同様にF₂レーザ光源3の発振を制御してもよい。また、投影露光装置の稼働中にケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの少なくとも1つ、例えば投影光学系PLの内部でのヘリウム濃度が所定値よりも低くなったときは、開閉バルブV11、V14を開けてヘリウムを供給する。このとき、投影光学系PL内、特に光学素子間での圧力を変化させないように、混合温調装置43やポンプ32などによってその供給するヘリウムガスの流量や圧力などを調整しておく。これは、圧力変化による投影光学系PLの結像特性の変化、及びレチクルR又はウエハW上での照度、又はその分布の変化を防止するためである。図示していないが、照明光学系（サブチャンバ6）及び投影光学系PLの内部にはそれぞれ圧力センサが設けられており、制御系45はこれらの圧力センサの測定値に基づいてヘリウムガスの流量や圧力などを制御する。なお、照明光学系、及び投影光学系PLの内部にそれぞれ温度センサ、及び湿度センサを更に配置し、それらのセンサの測定値も利用してヘリウムガスの温度や湿度をより正確に制御するようにしてもよい。

このように本例では、投影露光装置の露光光（紫外パルス光IL）の光路の大部分を流れるように供給されたヘリウムガスの大部分は、環境チャンバ7の上部空間7aを介して、あるいはケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLから直接、配管33を通して階下のヘリウム循環装置に回収されているため、高価なヘリウムの使用量を減らすことができる。従って、露光光に対する透過率を高め、光学素子の冷却効率を高めた上で、投影露光装置の運転コストを低減するこ

とができる。

なお、上記の実施の形態において、図1の冷凍装置37と混合温調装置43との間に、回収したヘリウムを保存するためのポンベ（例えば後述する図3中のポンベ50に相当するもの）を更に設けてもよい。この場合、大量に保存できるようにするために、コンプレッサによってヘリウムを100～200気圧程度に圧縮してそのポンベに収納することが望ましい。これによって体積はほぼ $1/100 \sim 1/200$ に減少する。更に、タービン等を用いた液化機によってヘリウムを液化して蓄積してもよい。液化によってヘリウムの体積はほぼ $1/700$ に減少できる。このように高圧縮、又は液化したヘリウムを再利用する際に、例えば1気圧程度の状態に戻したときには、膨張によって温度が下がるため、ヒータ等での加熱温度管理が必要となる。また、圧力を一定にするためのバッファ空間を設けることが望ましい。更に、混合温調装置43の上流側（ポンプ42側）に開閉バルブを設け、回収したヘリウムを保存するポンベから取り込むヘリウムの量を調整したり、あるいはその流路（配管41）の開閉を制御するようにしてもよい。この開閉バルブと配管47の開閉バルブ48とを併用することで、配管31に送るヘリウムの濃度調整をより一層容易に行うことができる。

なお、上記の実施の形態では、ヘリウムガスは露光光の光路の大部分を流通するように供給されているが、更にその光路の全部を覆うと共に、かつレチクルステージ20やウエハステージ23の冷却効率も高めるために、環境チャンバ7内の全体にヘリウムガスを供給するようにしてもよい。この場合でも、大部分のヘリウムは回収されるため、運転コストの上昇は僅かである。

また、上記の実施の形態では、混合温調装置43によって回収されたヘリウムと高純度のヘリウムとを混合しているが、回収されたヘリウムの濃度（純度）が低いような場合には、単に混合しても急速には投影露光装置側に供給されるヘリウムの濃度を許容範囲まで高められない恐れがある。このような場合には、回収されたヘリウムは別のポンベに蓄えて、別の再生工場等で純度を高めるようにして、投影露光装置にはポンベ46内の高純度のヘリウムを供給するようにしてもよい。

なお、図1の投影露光装置では開閉バルブV11～V18を用いて、ケース1、

サブチャンバ6、及び投影光学系PL内にそれぞれヘリウムを充填（封入）しておくものとしたが、本例ではヘリウム循環装置を備えているので、例えば開閉バルブV16～V18を閉じた状態で、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLからそれぞれ漏れ出すヘリウムを補充するように、ヘリウムの流量を調整しながら常時供給するようにしてもよい。あるいは、開閉バルブV11～V18を開いたまま所定流量でヘリウムを常時供給するようにしてもよい。後者の方法では、特に開閉バルブV11～V18を設けなくてもよい。このとき、照明光学系、及び投影光学系PLの内部にそれぞれ設けられる圧力センサ（不図示）の測定値に基づいて、その内部での圧力がほぼ一定値に維持されるように、その供給するヘリウムの流量や圧力などを制御すればよい。

ここで、前述のようにヘリウムを常時供給する場合、不純物濃度計90で計測される不純物の濃度が所定の許容値に達した時点で開閉バルブV11を閉じるようにしているが、このとき投影露光装置全体の動作を統轄制御する主制御系（不図示）は露光装置本体での動作を確認し、例えばウエハの露光処理の途中であるときには、制御系45に対してその露光処理が終了するまで開閉バルブV11を閉じる動作（閉成）を待つように指令を送るようにする。又は、その主制御系は、不純物の濃度が許容値に達する直前では、次のウエハの露光処理を開始させることなく開閉バルブV11を閉じさせて、前述のように不純物濃度を所定値以下に下げる動作を開始させるようにしてもよい。

また、本例では前述の不純物の混入を考慮して、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PL内のヘリウムを交換する、あるいはヘリウムを循環させるために、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの各々と配管33とを配管92～94で接続した。しかしながら、回収したヘリウムを精度良く浄化（純化）でき、不純物の混入が無視できる程度であり、照明光学系や投影光学系PLの内部で不純物がほぼ発生しない状態であれば、その配管92～94（及び開閉バルブV16～V18）は設けなくともよい。このとき、更に開閉バルブV11～V15を設けなくともよい。この場合、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLからそれぞれヘリウムが漏れ出すので、それを補充する、即ちヘリウム濃度が許容値以上に維持されるように、ヘリウムを常時若しくは随時（又は定

期的に) 供給すればよい。

更に、本例では図1のF₂ レーザ光源3とBMU4とをケース1内に収納するものとしたが、F₂ レーザ光源3とは別にBMU4などを筐体に収納し、F₂ レーザ光源3とその筐体とにそれぞれヘリウムを供給するようにしてもよい。このとき、F₂ レーザ光源3とその筐体とを機械的に接続し、両者の仕切板としてF₂ レーザが透過するガラスプレートを設ければよい。

次に、本例の窒素循環装置につき詳細に説明する。本例では、図2の配管88を介して図1の環境チャンバ7内に窒素ガス(N₂)を供給すると共に、配管95、33を介してその環境チャンバ7から窒素を回収している、即ち環境チャンバ7内で窒素を循環させている。

さて、図1の冷凍装置37でヘリウムなどと分離された窒素は、ポンプ39によって吸引されて配管38を通して図2のポンベ40に回収される。更に、ポンベ40内の窒素は、ポンプ83によって吸引されて配管81を通して温調装置86に送られる。配管81の途中には開閉バルブV21が設けられると共に、温調装置86に送られる窒素の濃度を計測する窒素濃度計(又は酸素濃度計)82が設置されており、この濃度計の測定値が制御系45に供給されている。制御系45は、濃度計82で計測される窒素濃度が所定値に達していないときに、窒素ポンベ84と温調装置86とを接続する配管85の開閉バルブV22を開放して、ポンベ84から温調装置86に高純度の窒素を供給する。一方、窒素濃度がその所定値以上であるときには、制御系45は開閉バルブV22を閉じておく。なお、濃度計82で計測される窒素濃度が極端に低いときは、開閉バルブV21を閉じて窒素ポンベ84からの窒素のみを温調装置86に送るようにしてもよい。そして、濃度計82で計測される窒素濃度が許容値(前述の所定値よりも小さい値)に達した時点で、開閉バルブV21を開放すればよい。

更に温調装置86は、回収、浄化された窒素と窒素ポンベ84からの窒素とを混合して所定の温度、圧力、湿度に制御し、この温度、圧力、及び湿度が制御された窒素ガスを床F1を貫通する配管88に供給する。配管88の途中で、床F1の底面側に送風用のポンプ(又はファン)87が設けられており、このポンプ87によって窒素が図1の配管88の分岐管88a、88bを通して環境チャン

バ7内に供給される。分岐管88aは、投影光学系PLとウエハWとの間の露光光の光路に向けて窒素ガスを吹き出し、分岐管88bはサブチャンバ6と投影光学系PLとの間の露光光の光路（レチクルRの上下の空間）に向けて窒素ガスを吹き出している。

また、配管88には床F1の上面側に開閉バルブV23が設置され、開閉バルブV23よりも上流側（ポンプ87側）の配管88内に、窒素に混入している不純物（前述のシリコン系有機物などを含む）の濃度を検出する不純物濃度計89が配置されている。この不純物濃度計89で計測される不純物濃度が所定の許容値以上となったときは、制御系45は、開閉バルブV23を閉じて投影露光装置への窒素の供給を停止し、例えば不純物除去装置80のフィルタ交換を行う。あるいは、回収した窒素を不純物と共にその窒素循環装置外に放出する。しかる後、開閉バルブV23（及び開閉バルブV24、V25）を開けて窒素の供給を再開すると共に、図1の配管95の開閉バルブV19も開けて窒素を循環させる。そして、不純物濃度が許容値よりも低いことが確認された時点で、開閉バルブV19を閉じる。更に、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値に達した時点で開閉バルブV24、V25を順次閉じていく。そして、ウエハステージ23に設けられた光検出器（不図示）を用いて、投影光学系PLの透過率（又はウエハW上での照度）、更にはレチクルR又はウエハW上での照度分布を検出し、これらの検出結果に基づいてウエハWへの露光を開始する。

なお、上記の実施の形態において、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値に達した時点で窒素の供給を停止し、配管88（又はその分岐管88a、88b）、及び配管95をそれぞれ開閉バルブV23（又は開閉V24、V25）、及び開閉バルブV19で閉じると共に、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値よりも低くなったときに、開閉バルブV23（及び開閉バルブV24、V25）を開けて窒素を供給するようにしてもよい。

また、前述のフィルタ交換、又は回収した窒素の放出の代わりに、回収した窒素を保存するボンベ40を別のボンベと交換し、別の再生工場などでその純度を高めるようにし、環境チャンバ7には窒素ボンベ84内の高純度の窒素を供給するようにしてもよい。また、不純物濃度計89は配管88の内部以外の位置に配

置してもよく、例えば配管 8 1 内、又は配管 3 6 内で不純物除去装置 8 0 よりも下流側に配置してもよい。特に後者の配置では、前述の不純物濃度計 9 0 を設ける必要がなくなる、即ちヘリウム供給装置と窒素供給装置とで 1 つの不純物濃度計を兼用することが可能となる。

更に、図示していないが、環境チャンバ 7 内には窒素濃度計又は酸素濃度計が設けられており、環境チャンバ 7 内での窒素濃度が所定の許容値を下回らないように、制御系 4 5 はその濃度計の出力に基づいて開閉バルブ V 2 3 ~ V 2 5 の開閉を制御する。また、環境チャンバ 7 内には温度センサ、圧力センサ、及び湿度センサ（不図示）も配置されており、環境チャンバ 7 内での温度、圧力、及び湿度がそれぞれ所定値にほぼ維持されるように、制御系 4 5 はそれらセンサの測定値に基づいて、温調装置 8 6 やポンプ 8 7 などによってその供給する窒素の流量、温度、圧力、及び湿度などを調整する。

ところで、本例では図 1 において、配管 8 8 の第 1 の分岐管 8 8 a の排出口を投影光学系 P L とウエハ W との間の近傍に設置し、投影光学系 P L とウエハ W との間を窒素が流れるようにしている。一方、配管 8 8 の第 2 の分岐管 8 8 b は更に 2 つに分岐され、一方の排出口はコンデンサレンズ 1 9 とレチクル R との間の近傍に設置され、他方の排出口はレチクル R と投影光学系 P L との間に設置されている。そこで、分岐管 8 8 a, 8 8 b からそれぞれ窒素が常時噴き出されるように、開閉バルブ V 1 9 の開閉を制御して環境チャンバ 7 内で窒素を循環させるとよい。この場合、照明光学系（コンデンサレンズ 1 9）と投影光学系 P L との間、及び投影光学系 P L とウエハ W との間に純度の高い窒素を優先的に供給することができるので、レチクル R 又はウエハ W の交換時などに環境チャンバ 7 の開閉によってその内部の窒素濃度が低下しても、その交換動作終了後直ぐに露光動作又は準備動作を開始することができ、スループットの低下を最小限に抑えることが可能となる。また、分岐管 8 8 a, 8 8 b を設けずに配管 8 8 を環境チャンバ 7 に接続しただけで窒素を循環させる場合に比べて窒素の供給量を少なくすることができる。更に、露光光の照射時にウエハ W（レジスト表面）から発生する飛散粒子（汚染物質）が投影光学系 P L（最もウエハ側の光学素子の表面）に付着することを大幅に低減することもできる。なお、環境チャンバ 7 内で窒素を循

環させる場合、その汚染物質が窒素と共にその外部に排出され、環境チャンバ7内でのクリーン度を高めることができる。

なお、本例では環境チャンバ7内を窒素雰囲気としたが、例えば不純物が除去された空気を環境チャンバ7に供給し、前述のように照明光学系と投影光学系P Lとの間、及び投影光学系P LとウエハWとの間に窒素を供給してその両空間を窒素雰囲気とするだけでもよい。このとき、窒素の代わりにヘリウムを供給するようにしてもよく、この場合は窒素循環装置を設ける必要がなくなり、例えば配管31と分岐管88a、88bとを接続して、上記両空間にそれぞれヘリウムを供給すればよい。また、環境チャンバ7に供給する空気として、前述の有機物などが除去された化学的にクリーンなドライエア（例えば湿度が5%程度以下）を用いてもよい。なお、この構成はArFエキシマレーザを露光用光源として用いる投影露光装置に対して特に有効であり、この場合はケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lにそれぞれ窒素を供給するようにしてもよいし、あるいはケース1、及びサブチャンバ7には窒素を供給し、投影光学系P Lにはヘリウムを供給するようにしてもよい。

また、本例では環境チャンバ7内に窒素（又はヘリウム）などを供給するものとしたが、露光用照明光の波長域によっては環境チャンバ7内に化学的にクリーンで、かつ温度制御された空気（前述のドライエア）を供給するだけでもよい。例えば、露光波長が190nm程度以上であれば、環境チャンバ7内を空気雰囲気としてもよい。この場合、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lにそれぞれ供給されるヘリウム、又は窒素などを回収する循環装置と同様に、環境チャンバ8に供給されるドライエアを回収するドライエア循環装置を設けてもよく、例えば配管33を介さずに配管95のみによって環境チャンバ8とそのドライエア循環装置とを接続してもよい。

更に、前述したヘリウム循環装置と同様に、回収した窒素をコンプレッサによって100～200気圧程度に圧縮するか、あるいはタービンなどを用いた液化機によって液化してボンベ40に保存するようにしてもよい。なお、分岐管88a、88bにそれぞれ設けた開閉バルブV24、V25は、照明光学系と投影光学系P Lとの間、及び投影光学系P LとウエハWとの間の一方のみに窒素を供給

可能とするものであり、両空間に窒素を同時に供給する場合には開閉バルブV 2 4, V 2 5を設けなくてもよい。

また、本例では照明光学系と投影光学系P Lとの間、及び投影光学系P LとウエハWとの間にそれぞれ窒素を流すようにしたが、分岐管8 8 a, 8 8 bを設けず、単に環境チャンバ7に配管8 8を接続して、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値以上となった時点で開閉バルブV 2 3を閉じるようにしてもよい。また、分岐管8 8 a, 8 8 bの有無にかかわらず、開閉バルブV 2 3, V 1 9を開けたまま所定流量で窒素を供給して環境チャンバ7内で窒素を循環させるようにしてもよい。この場合、特に開閉バルブV 2 3, V 1 9を設けなくてもよい。

更に、本例では照明光学系の大部分をサブチャンバ6に収納し、サブチャンバ6の一部を環境チャンバ7内に設置したが、例えばサブチャンバ6の全てを環境チャンバ7内に設置してもよい。この場合、サブチャンバ6から漏れ出すヘリウムの回収率を向上させることができる。また、環境チャンバ7外に設置されるサブチャンバ6の一部から漏れ出すヘリウムをも回収するために、環境チャンバ7外のサブチャンバ6を所定の筐体で覆い、その筐体上部に配管3 3の別の流入口を接続してもよい。

また、本例ではケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lにそれぞれ単一の気体（窒素、又はヘリウム）を供給するものとしたが、例えば窒素とヘリウムとを所定比で混合した気体を供給するようにしてもよい。この場合、ヘリウム循環装置の配管3 1に対してその開閉バルブV 1 1よりも下流側で窒素循環装置の配管8 8を接続すればよい。なお、混合気体は窒素とヘリウムとの組み合わせに限られるものではなく、ネオン、水素などと組み合わせてもよい。また、環境チャンバ7に供給する気体も前述の混合気体であってもよい。

次に、本発明の第2の実施の形態につき図3を参照して説明する。本例は複数台の投影露光装置からのヘリウムを1台のヘリウム回収装置で回収するものであり、図3において、図1、図2に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。なお、図1、図2中に示したケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lの各々と配管3 3とを接続する配管9 2～9 4、及び環境チャンバ7と配管3 3とを接続する配管9 5は図示省略している。

図3は、本例の複数台の投影露光装置、及び1台のヘリウム回収装置を示す断面図であり、この図3において、床F1上に複数個の環境チャンバ7A、7B、7Cが設置され、各環境チャンバ7A、7B、7C内にそれぞれ図1の露光本体部26と同様の露光本体部が設置され、かつ不図示の露光光源が近接して配置されている。そして、環境チャンバ7A、7B、7C内にそれぞれ階下の不図示のヘリウム供給装置から所定の純度以上のヘリウムガスが供給されている。そして、環境チャンバ7A、7B、7C内に供給されて内部の天井近傍の空間に上昇したヘリウム、窒素、及び空気の混合気体は、それぞれ配管33A、33B、33Cを介して共通配管49に導かれている。共通配管49は、床F1の開口を通過して階下の床F2上のヘリウム回収装置に通じている。共通配管49の床F1の底面側には吸引用のポンプ34が設置されている。

階下のヘリウム回収装置において、共通配管49及び吸引用のポンプ34を介して回収されたヘリウム、窒素、及び空気の混合気体は、集塵排水装置35、不純物除去装置80、配管36を経て冷凍装置37に達し、冷凍装置37で液化された窒素はポンベ40に回収される。そして、冷凍装置37で液化されなかったヘリウムは、配管41及び吸引用のポンプ42によってヘリウムを蓄積するためのポンベ50に例えば高圧で圧縮されて回収される。回収されたヘリウムは、ポンベ50に設けられた配管51を介して、純度を高めるための再生工場、又は図1中に示したヘリウム供給装置に供給される。

ところで、前述の第1実施の形態(図1、図2)で説明したように、図3中のヘリウム回収装置(33A~33C、34~42、49、50)は窒素回収装置を兼ねている。そこで、複数台の投影露光装置と1台の窒素供給装置(図2中の配管81~配管88までの部材)とを接続し、この窒素供給装置によってポンベ40に保存された窒素を複数台の投影露光装置にそれぞれ供給するようにしてもよい。これにより、複数台の投影露光装置で1台の窒素循環装置を兼用することが可能となる。

このように本例では、複数台の露光装置に対して1台のヘリウム回収装置、及び窒素循環装置で対応しているため、回収コストが低減されている。

次に、図4を参照して図1及び図2の第1の実施の形態の投影露光装置の変形

例につき説明する。本例は、環境チャンバ7内に配置されるレチクルステージ20とウエハステージ23とをそれぞれサブチャンバCH1, CH2内に収納したものであり、図4において、図1に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

図4において、サブチャンバCH1は照明光学系（コンデンサレンズ19）と投影光学系PLとの間の光路が空気に曝されないように、その間の空間を密閉して窒素雰囲気とするものであり、配管88の分岐管88b、及び配管33に接続される配管96が接続され、配管96には開閉バルブV20が設けられている。図4では、サブチャンバCH1は投影光学系PLと接続されているが、実際にはサブチャンバCH1の振動が投影光学系PLに伝わらない構造となっている。なお、サブチャンバCH1はサブチャンバ6と一体的に構成してもよく、更にはサブチャンバCH1を投影光学系PLが固定される架台とは別の架台を介して床F1上に固定してもよい。

一方、サブチャンバCH2は床F1（正確には露光装置本体が配置されるベースプレート）上に固定されると共に、投影光学系PL（最もウエハ側の光学素子）とウエハWとの間の光路が空気に曝されないように、その間の空間を密閉して窒素雰囲気とするものであり、配管88の分岐管88a、及び配管95が接続されている。また、サブチャンバCH1と同様にサブチャンバCH2もその振動が投影光学系PLに伝わらない構造となっている。

なお、サブチャンバCH1, CH2ではその内部の窒素濃度が所定値以上となった時点でその前後の開閉バルブ（開閉バルブV25とV20、又は開閉バルブV24とV19）を閉じるようにしてもよいし、あるいはそれらの開閉バルブを開けたまま所定流量で窒素を循環させるようにしてもよい。また、サブチャンバCH1, CH2にそれぞれ配管31の分岐管を接続して、窒素の代わりにヘリウムを供給するようにしてもよい。

図示していないが、ウエハステージ23の位置情報を検出するレーザ干渉計、ウエハW上のアライメントマーク等を検出するオフ・アクシス方式のアライメント光学系、又はウエハWの表面位置を検出する斜入射光方式の位置検出光学系の少なくとも一部はサブチャンバCH2内に配置されている。なお、アライメント

光学系や位置検出光学系の光源、及びディテクタ等はサブチャンバCH2の外に配置することが好ましい。また、レチクルステージ20、及びウエハステージ23の位置制御に用いるレーザ干渉計（不図示）もそれぞれサブチャンバCH1、CH2内に配置されている。

更に、本例では循環チャンバ7は空調機（不図示）と接続されており、サブチャンバ6、CH1、CH2以外の空間で、前述の不純物（有機物等）が除去され、かつ温度、圧力、及び湿度が制御された空気が循環され、環境チャンバ7内の環境（温度等）がほぼ一定に維持されるようになっている。なお、環境チャンバ7内の空気がサブチャンバCH1、CH2に混入しないように、サブチャンバCH1、CH2内の圧力を環境チャンバ7内の圧力よりも高く設定しておくことが望ましい。

このように本例では、照明光学系と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間での露光光（紫外パルス光IL）の減衰を防止することができると共に、環境チャンバ7の内部全体を窒素雰囲気にする場合に比べて窒素の供給量（使用量）が少なく済み、かつ露光光の照射によってレジスト表面から発生する汚染物質を効率よくサブチャンバCH2の外に排出することができる。なお、本例はサブチャンバCH1、CH2、及び上記空調機以外の構成は図1と同一であり、第1及び第2の実施の形態で説明した変形例もそのまま適用することができる。例えば、サブチャンバCH2内で分岐管88aを延長して、図1と同様に投影光学系PLとウエハWとの間に窒素を噴き付ける（流す）ようにしてもよく、これによって投影光学系PLへの汚染物質の付着量が低減でき、かつ汚染物質の回収（排出）を効率よく行うことができる。なお、本例ではサブチャンバCH1、CH2にそれぞれ窒素、又はヘリウムを供給するものとしたが、これら以外の不活性ガス（ネオン、水素など）、又はこれらを組み合わせた混合気体を供給してもよいし、あるいは露光光の波長によっては（例えば波長が190nm程度以上の場合には）前述した化学的にクリーンなドライエアを供給するようにしてもよい。また、サブチャンバCH1、CH2にそれぞれ窒素などを供給する代わりに、その内部を真空としてもよい。

さて、図1～図4に示した投影露光装置ではアライメント光学系や斜入射光方

式の焦点検出光学系等を図示していないが、照明光学系の大部分を収納するサブチャンバ6と同様に、アライメント光学系、又は焦点検出光学系の少なくとも一部を対応する筐体内に収納し、その筐体内に窒素、又はヘリウム等を供給するように構成してもよい。この場合、その筐体に配管31又は配管88の分岐管を接続すればよく、更に必要ならばその筐体と配管33とを接続してもよい。

また、レチクルステージ20にレチクルRを搬送するレチクルローダ、及びウエハステージ23にウエハWを搬送するウエハローダも図示されていないが、レチクルローダ及びウエハローダはそれぞれ独立にサブチャンバに収納され、それらサブチャンバは環境チャンバ7（図4の例ではサブチャンバCH1, CH2）に接続されている。この場合、レチクルローダ、又はウエハローダが配置されるサブチャンバ内に窒素、又はドライエア等を供給するように、例えば配管88の分岐管をそのサブチャンバに接続してもよいし、あるいはそのチャンバ内には前述の不純物が除去され、温度等が制御された空気を供給するだけでもよい。前者では、更にサブチャンバと配管33とを接続して窒素を循環させるように構成してもよく、後者では特に環境チャンバ7（サブチャンバCH1, CH2）に窒素、ヘリウム、又はドライエア等が供給されているときは、レチクルローダ、又はウエハローダが配置されるサブチャンバ内の空気が流入しないように、その内部圧力よりも環境チャンバ7（又はサブチャンバCH1, CH2）内の圧力を高く設定しておくともよい。

更に、前述の実施の形態では環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1, CH2に窒素、又はヘリウムを供給するものとしたので、その内部に設置される酸素濃度計の測定値が所定値（例えば空気中の酸素濃度と同程度）を下回っているときは、オペレータが環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1, CH2を開放できないようにその扉がロックされるようになっている。また、電源の供給が停止されたときなどは、窒素又はヘリウムの供給が自動的に停止され、かつ回収用配管95などとは別に環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1, CH2に接続される排気ダクトの開閉バルブ（ノーマル・クローズ・バルブ）が開放されて、その内部の窒素又はヘリウムの濃度を下げるようになっている。更に、オペレータが環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1, CH2を開けるときは、窒素又は

ヘリウムの供給が停止されると共に、その内部に酸素が供給されるように酸素ボンベが接続されている。これにより、酸素濃度が前述の所定値に達するまでの時間を短縮することができる。ここで、前述した不活性ガス（窒素又はヘリウムなど）の供給停止は、環境チャンバ7、サブチャンバ6、CH1、CH2、及びケース1の開放時、即ち露光装置（例えば、F₂レーザ光源3、照明光学系、投影光学系PL、レチクルステージ20、及びウエハステージ23など）のメンテナンス時、ウエハカセット又はレチクルケースの交換時、及び露光装置への電源供給の停止時などに行われる。このとき、不活性ガスの供給停止と同時に、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLにそれぞれ前述した化学的にクリーンなドライエアを供給するようにして、不活性ガスの供給停止に伴う光学素子表面での曇りの発生を防止することが望ましい。

なお、配管95などとは別に環境チャンバ7に接続する前述の排気ダクトは、環境チャンバ7内の酸素濃度を早急に前述の所定値以上とするために、配管95などに比べてその排気能力が大幅に大きい。また、その排気ダクトの他端はクリーンルーム（半導体工場）外、即ち大気中に開放するようにしてもよいが、大容量のタンクなどに接続して不活性ガスを回収するように構成しておくことが望ましい。このタンクに回収された不活性ガスは、配管を通じて前述のヘリウム回収装置に送るようにしてもよいし、あるいは再生装置でその純度を高めるようにしてもよい。

また、上記の実施の形態では、露光エネルギービームに対する透過率が高く（不活性で）、かつ熱伝導率が良好な気体としてヘリウムガスが使用されているが、そのような気体としてヘリウム以外の気体（例えばネオン（Ne）、水素（H₂）、又はヘリウムと窒素との混合気体等）を使用する場合にも本発明が適用できる。また、例えば波長が190nm程度以上である露光光を用いる露光装置では、投影光学系PL等に供給する気体として窒素（特に純度の高いもの）も使用することができるが、この場合にも本発明を適用してもよい。

また、上記の実施の形態では、F₂レーザを露光用光源として用いたが、例えばKrFエキシマレーザ（波長248nm）、ArFエキシマレーザ（波長193nm）、Kr₂レーザ（波長147nm）、又はAr₂レーザ（波長126nm）

m)等を用いてもよく、これらの光源を備えた露光装置に対しても本発明を適用することができる。但し、例えばKrFエキシマレーザを用いる露光装置では、投影光学系内の空気を窒素、又はヘリウム等に置換する必要はなく、KrFエキシマレーザ光源、及び照明光学系内の空気を窒素等に置換するだけでよい。また、環境チャンバ7に供給する気体は窒素等である必要はなく、前述の不純物が除去された空気を用いることができる。このように光源と照明光学系とに、あるいは照明光学系のみに窒素等を供給する露光装置であっても本発明を適用することができる。なお、この種の露光装置では窒素の代わりに、前述した化学的にクリーンなドライエアを用いることもできるが、このドライエアを用いる露光装置にしても本発明を適用することができる。

更に、エキシマレーザの代わりに、露光光として例えば波長248nm、193nm、157nmの何れか、又はこれらの近傍に発振スペクトルを持つYAGレーザ等の固体レーザの高調波を用いる場合にも本発明が適用される。また、露光光として、例えばDFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム(Er)（又はエルビウムとイッテルビウム(Yb)との両方）がドーブされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いる場合にも本発明が適用される。

具体的には、単一波長レーザの発振波長を1.51~1.59 μ mの範囲内とすると、発生波長が189~199nmの範囲内である8倍高調波、又は発生波長が151~159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.544~1.553 μ mの範囲内とすると、193~194nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57~1.58 μ mの範囲内とすると、157~158nmの範囲内の10倍高調波、即ちF₂レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を1.03~1.12 μ mの範囲内とすると発生波長が147~160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099~1.106 μ mの範囲内とすると、発生波長が157~158nmの範囲内の

7倍高調波、即ちF₂レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしてはイッテルビウム・ドープ・ファイバーレーザ等を用いることができる。

更に、本発明を適用する露光装置は、一括露光型（例えばステップ・アンド・リピート方式）、又は走査露光型（例えばステップ・アンド・スキャン方式）の何れであってもよい。また、ミラープロジェクション方式、又はプロキシミティ方式の露光装置に対しても本発明を適用することができる。なお、投影光学系が使用される場合、その光学系は屈折系、反射系、又は反射屈折系の何れであってもよいし、更には縮小系、等倍系、又は拡大系の何れであってもよい。

更に、半導体素子、液晶表示素子（ディスプレイ装置）、薄膜磁気ヘッド、及び撮像素子（CCD）等のマイクロデバイスの製造に用いられる露光装置だけでなく、レチクル、又はマスクを製造するために、ガラス基板、又はシリコンウエハ等に回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光等を用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、蛍石、フッ化マグネシウム、又は水晶等が用いられる。また、EUV光（極端紫外光）を露光エネルギービームとする露光装置では反射型マスクが用いられ、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置等では透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハ等が用いられる。

ところで、複数の光学素子から構成される照明光学系、及び投影光学系を露光装置本体に組み込んで光学調整を行うと共に、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続すると共に、ケース1、照明光学系（サブチャンバ6）、投影光学系PL、及び環境チャンバ7をそれぞれヘリウム循環装置や窒素循環装置等と接続し、更に、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより上記実施の形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設

計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを制作するステップ、前述の実施の形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

続いて、本発明の第3の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、露光光の光路の大部分にヘリウムガスが供給される半導体素子製造用のステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。

図5は、本例の投影露光装置、及びヘリウム供給装置の概略構成を示し、この図5において、半導体製造工場の或る階の床F101上のクリーンルーム内に投影露光装置が設置され、その階下の床F102上のいわゆる機械室（ユーティリティスペース）内に、階上の投影露光装置にヘリウムガスを供給するヘリウム供給装置、及びそのヘリウムガスの一部を回収する回収装置が設置されている。このように発塵し易いと共に、振動発生源となり易い装置を、投影露光装置が設置されている階と別の階に設置することによって、投影露光装置が設置されているクリーンルーム内の清浄度を極めて高く設定できると共に、投影露光装置に対する振動の影響を小さくできる。

先ず、床F102上に圧縮されたヘリウムガスを蓄積したボンベ132が設置され、ボンベ132から階上の床F101に設けられた貫通孔を通過する配管131に、温度制御された所定圧力のヘリウムが供給されている。配管131の床F101の底面側に電磁式の開閉バルブ134、及び送風ファン133が設置され、これらによってヘリウムの供給量が制御されている。

次に、床F101上のクリーンルーム内において、防振台102A、102Bを介して箱状のケース101が設置され、ケース101内に露光光源としてのF2レーザ光源103（発振波長157nm）、露光本体部との間で光路を位置的にマッチングさせるための可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）104、及び内部を露光光が通過する遮光性のパイプ105が設置されている。なお、露光光源としては、KrF、又はArF等のエキシマレーザ光源等も使用できる。また、ケース101の隣に箱状の気密性の良好な環境チャンバ107が設置され、環境チャンバ107内で床F101上に床からの振動を減衰する

ための防振台125A、125Bを介して定盤124が設置され、定盤124上に露光本体部126が設置されている。また、ケース101内から突き出ているパイプ105から環境チャンバ107の内部まで気密性の良好なサブチャンバ106が架設され、サブチャンバ106内に照明光学系の大部分が収納されている。

図5において、露光時に、ケース101内のF₂レーザ光源103から射出された露光光としての波長157nmの紫外パルス光1Lは、BMU104及びパイプ105の内部を経てサブチャンバ106内に至る。サブチャンバ106内において、紫外パルス光1Lは、光アッテネータとしての可変減光器108、レンズ系109A、109Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ111に入射する。フライアイレンズ111の射出面には照明条件を種々に変更するための照明系の開口絞り系112が配置されている。

フライアイレンズ111から射出されて開口絞り系112中の所定の開口絞りを通じた紫外パルス光1Lは、反射ミラー113、及びコンデンサレンズ系114を経てレチクルブラインド機構116内のスリット状の開口部を有する固定照明視野絞り（固定ブラインド）115Aに入射する。更に、レチクルブラインド機構116内には、固定ブラインド115Aとは別に照明視野領域の走査方向の幅を可変とするための可動ブラインド115Bが設けられ、この可動ブライント115Bによってレチクルステージの走査方向の移動ストロークの低減、及びレチクルRの遮光帯の幅の低減を図っている。

レチクルブラインド機構116の固定ブラインド115Aでスリット状に整形された紫外パルス光1Lは、結像用レンズ系117、反射ミラー118、及び主コンデンサレンズ系119を介して、レチクルRの回路パターン領域上のスリット状の照明領域を一様な強度分布で照射する。本例では、遮光性のパイプ105の射出面から主コンデンサレンズ系119までがサブチャンバ106内に収納され、更にパイプ105の内部からF₂レーザ光源103の射出面までの空間も密閉されて、サブチャンバ106内の空間に連通している。そして、サブチャンバ106内の空間には、階下のヘリウム供給装置から配管131の分岐管131a、及び分岐管131bを介して2箇所所定の純度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給されている。但し、ヘリウムは分子量が小さく漏れ易いため、サブチ

チャンバ106から自然に漏れ出たヘリウムの一部は上昇して環境チャンバ107の天井近傍の空間107aに溜まる。

紫外パルス光1Lのもとで、レチクルRの照明領域内の回路パターンの像が投影光学系PLを介してウエハW上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域のうちの1つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系PLは、ジオプトリック系（屈折系）であるが、このような短波長の紫外光を透過できる硝材は限られているため、投影光学系PLをカタジオプトリック系（反射屈折系）、又は反射系として、投影光学系PLでの紫外パルス光1Lの透過率を高めるようにしてもよい。

そして、サブチャンバ106内と同様に本例の投影光学系PLの鏡筒内部の空間（複数のレンズ素子間の空間）の全体にも、階下のヘリウム供給装置より配管131の分岐管131bを介して、所定の濃度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給されている。投影光学系PLの鏡筒から漏れ出るヘリウムも上昇して、環境チャンバ107の天井付近の空間107aに溜まる。以下では、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図5の紙面に平行にX軸、図5の紙面に垂直にY軸を取って説明する。

このとき、レチクルRは、レチクルステージ120上に吸着保持され、レチクルステージ120は、レチクルベース121上にX方向（走査方向）に等速移動できると共に、X方向、Y方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ120（レチクルR）の2次元的な位置、及び回転角は、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。

一方、ウエハWは不図示のウエハホルダ上に吸着保持され、このウエハホルダは試料台122上に固定され、試料台122はXYステージ123上に固定され、XYステージ123は定盤124上に載置されている。試料台122、XYステージ123、及び不図示のガイド部材よりウエハステージが構成されており、試料台122はオートフォーカス方式でウエハWのフォーカス位置（Z方向の位置）、及び傾斜角を制御してウエハWの表面を投影光学系PLの像面に合わせ込む。また、XYステージ123は、ウエハWのX方向への等速移動、及びX方向、Y方向へのステップ移動を行う。XYステージ123（ウエハW）の2次元的な

位置、及び回転角も、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。走査露光時には、レチクルステージ120を介して紫外パルス光11Lの照明領域に対してレチクルRが+X方向（又は-X方向）に速度 V_r で走査されるのに同期して、XYステージ123を介して露光領域に対してウエハWが-X方向（又は+X方向）に速度 $\beta \cdot V_r$ （ β はレチクルRからウエハWへの投影倍率）で走査される。

また、本例のウエハステージ中のXYステージ123は、ガイド面に沿って静圧気体軸受方式で非接触に摺動する方式であり、その静圧気体軸受の気体として、紫外パルス光11Lの光路に供給されている気体と同じヘリウムが使用されている。また、定盤124を支持する防振台125A、125Bは、気体ばね方式であり、その気体ばね用の気体としてもヘリウムが使用されている。そのため、環境チャンバ107内に一時蓄積ポンベ127が設置され、一時蓄積ポンベ127に階下のヘリウム供給装置より配管131の分岐管131cを介してヘリウムが供給され、一時蓄積ポンベ127から可撓性の高い配管128（実際には複数の配管からなる）を介してXYステージ123にヘリウムが供給され、これと並列に可撓性の高い配管129（実際には複数の配管からなる）を介して防振台125A、125Bにもヘリウムが供給されている。XYステージ123の静圧気体軸受機構については後述する。

更に、本例では、環境チャンバ107の内部に階下の不図示の窒素循環装置から、酸素の含有量を極めて低く抑えると共に、温度制御された窒素ガス（N₂）が供給されている。そして、環境チャンバ107内を循環した窒素ガスは、例えば環境チャンバ107の底面側の排気孔（不図示）からその窒素循環装置に戻されている。なお、環境チャンバ107の内部の全体にも、窒素ガスの代わりにヘリウムを循環させてもよい。

次に、環境チャンバ107内で、サブチャンバ106から漏れ出たヘリウム、及び投影光学系PLやXYステージ123等から漏れ出たヘリウムは、環境チャンバ107の外部から混入してくる空気や窒素に比べて軽いため、上昇して天井近傍の空間107aに溜まる。本例では、環境チャンバ107の外部からその空間107aに配管135が接続され、配管135は、床F101に設けられた開

口を通過して階下のヘリウム回収装置に通じている。床F 1 0 1の底面側の配管1 3 5の途中に吸引用のファン1 3 6が配置されており、配管1 3 5、及びファン1 3 6によってその空間1 0 7 aから吸引された気体は、階下の床F 1 0 2上の回収用のポンベ1 3 7に回収される。ポンベ1 3 7内には、集塵排水装置、及びヘリウムとその他の気体とを分離する分離装置等も備えられ、分離されたヘリウムが蓄積され、必要に応じて更に純度を高めるための工程に供給される。

次に、本例のウエハステージ側のX Yステージ1 2 3の静圧気体軸受機構につき図6を参照して説明する。

図6は、図5中のウエハステージの一部をX方向から見た断面図を示し、この図6において、ウエハWは、試料台1 2 2を介して上板1 4 1に固定され、上板1 4 1の底面に底板1 4 2が固定され、底板1 4 2は定盤1 2 4の平坦に研磨された上面に載置されている。また、底板1 4 2をY方向に挟むように軸受板1 4 3 A、1 4 3 Bが固定され、軸受板1 4 3 A、1 4 3 BをY方向に挟むようにX方向に沿って平行に2本のXガイドバー1 4 4 A、1 4 4 Bが架設されている。上板1 4 1、底板1 4 2、及び軸受板1 4 3 A、1 4 3 BよりX Yステージ1 2 3が構成され、X Yステージ1 2 3は、不図示のリニアモータによってXガイドバー1 4 4 A、1 4 4 Bに沿ってX方向に駆動される。更に、Xガイドバー1 4 4 A、1 4 4 Bは一体となって、Y方向に伸びるように配置された2本のYガイドバー1 4 5 A（もう1本は手前側に配置されている）に沿って不図示のニリアモータによってY方向に駆動される。

また、上板1 4 1から軸受板1 4 3 Aにかけて通気孔1 4 7 Aが形成され、上板1 4 1側の通気孔1 4 7 Aに配管1 2 8 Aを介して図5の一時蓄積ポンベ1 2 7から所定圧力に圧縮されたヘリウムが供給されており、そのヘリウムは軸受板1 4 3 Aの噴出孔1 4 7 A aから、Xガイドバー1 4 4 Aに噴出されている。同様に、上板1 4 1側の通気孔1 4 7 Bに配管1 2 8 Bを介して図5の一時蓄積ポンベ1 2 7から所定圧力に圧縮されたヘリウムが供給されており、そのヘリウムは軸受板1 4 3 B内の噴出孔1 4 7 B aからXガイドバー1 4 4 Bに噴出されている。これによって、軸受板1 4 3 A、1 4 3 BはXガイドバー1 4 4 A、1 4 4 Bの間に所定のギャップを隔てて非接触で支持される。

更に、上板141から底板142にかけて通気孔148が形成され、上板141側の通気孔148に配管128Cを介して図5の一時蓄積ポンベ127から所定圧力に圧縮されたヘリウムが供給されており、そのヘリウムは底板142の底面に設けられている噴出孔148aから、定盤124上に噴出されている。底板142の底面の噴出孔148aを含む領域には浅い気体ポケット部142aが形成されており、この気体ポケット部142aに溜まった圧縮されたヘリウムによって、XYステージ123は定盤124の上面に浮上する。但し、XYステージ123が浮上し過ぎないように、底板142の底面の気体ポケット部142aの周囲に吸気孔149aが形成され、吸気孔149aは底板142、及び上板141内に設けられた通気孔149に通じている。通気孔149は可撓性の大きい配管146を介して不図示の真空ポンプに接続され、この真空ポンプによって底板142の吸気孔149aから定盤124上の気体（主にヘリウム）を吸引することによって、XYステージ123は定盤124上に非接触に安定に支持される。

このように本例のXYステージ123は、定盤124に対してZ方向にヘリウムを用いた気体軸受方式で非接触に載置され、Xガイドバー144A、144Bに対してY方向にヘリウムを用いた気体軸受方式で非接触に配置されているため、定盤124上をX方向、Y方向に極めて小さい駆動力で高速に移動することができる。

上述のように本例では、図5のF₂レーザ光源103の射出面から主コンデンサレンズ系119までの紫外パルス光ILの光路、及び投影光学系PL内の紫外パルス光ILの光路に、150nm程度以下の光に対しても高い透過率を有するヘリウムガスが供給されている。また、主コンデンサレンズ系119から投影光学系PLの入射面まで、及び投影光学系PLの射出面からウエハWの表面までは、150nm程度以下の光に対してはあまり透過率の良くない窒素が供給されているが、その窒素ガス内を通過する光路は極めて短いため、窒素による吸収量も僅かである。従って、F₂レーザ光源103から射出された紫外パルス光ILは、全体として高い透過率（利用効率）でウエハWの表面に達するため、露光時間（走査露光時間）を短縮でき、露光工程のスループットが向上する。

また、本例ではウエハ側のXYステージ123に使用されている静圧気体軸受

用の気体はヘリウムであると共に、防振台125A、125Bに使用されている気体もヘリウムである。そのため、露光中に静圧気体軸受等の使用によって、紫外パルス光I Lの光路のヘリウムの純度が低下することが無いと共に、それ以外の紫外パルス光I Lの光路でも透過率の低い気体の増加が防止されるため、紫外パルス光I Lの全体としての透過率が低下することが無い。

また、窒素及びヘリウムは不活性であるため、紫外パルス光I Lの光路上の光学部材に化学反応による曇り物質が付着することがない。

また、ヘリウムは窒素に比べて熱伝導率が6倍程度良好であるため、照明光学系内の光学素子、及び投影光学系P Lの光学素子において紫外パルス光I Lの照射によって蓄積された熱エネルギーは、ヘリウムを介して効率的にそれぞれサブチャンバ106のカバー、及び投影光学系P Lの鏡筒に伝導する。また、サブチャンバ106のカバー、及び投影光学系P Lの鏡筒の熱エネルギーは、クリーンルーム内の温度制御された空気、又は環境チャンバ107内の温度制御された窒素ガスによって階下等の外部に効率的に廃熱される。従って、照明光学系、及び投影光学系P Lの光学素子の温度上昇が極めて低く抑えられて、結像性能の劣化が最小限に抑制される。更に、ヘリウムは気圧変化に対する屈折率の変化量が極めて少ないため、例えば投影光学系P L内での屈折率変化量が極めて少なくなり、この面でも安定な結像性能が維持される。

なお、投影露光装置に使用されている機器の中で気体を使用するものとしては、例えばレチクルロード系やウエハロード系等で搬送等に使用されている気体式のシリンダ装置もある。このシリンダ装置は、多数のピストンを備えており、所定のピストンを気体で伸縮させることによって所定の物体を移動させるものである。このようなシリンダ装置用の気体としてもヘリウムを使用することが望ましい。これによって紫外パルス光I Lの透過率が更に向上する。

なお、上記の実施の形態では露光エネルギービームとしてF₂ レーザ光が使用されているが、露光エネルギービームとして、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）、若しくはKrFエキシマレーザ光（波長248nm）、又はX線等を使用する場合でも、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に透過率の良好な気体としてのヘリウム、又は窒素のような不活性ガスを供給する場合

には、本発明が適用できる。特に、KrFエキシマレーザ光のように波長が250nm～200nm程度の露光光を使用する場合には、透過率の良好な気体として安価な窒素を使用できる。このように窒素を使用する場合には、図6のXYステージ123の静圧気体軸受用の気体、及び図5の防振台125A、125B用の気体として窒素を使用することが望ましい。

一方、露光光として波長193nmのArFエキシマレーザ光を使用する投影露光装置において、投影光学系を反射屈折光学系より構成する際には、その光学系内にパージする気体としては屈折率の変化の少ないヘリウムを使用することが望ましい。この場合に、照明光学系内には窒素又はヘリウムの何れをパージしてもよいが、投影光学系内と同一の気体、即ちヘリウムを使用することが望ましい。また、ArFエキシマレーザ光を使用して、かつ屈折光学系よりなる投影光学系を使用する場合には、その投影光学系内にパージする気体として窒素を使用してもよいが、ヘリウムを使用することが望ましい。

また、本例では静圧気体軸受機構（図6）、エアシリンダ装置などで使用する気体として、照明光学系、及び投影光学系PLに供給するパージ用の不活性ガス（ヘリウム又は窒素など）と同一のものをを用いるとしたが、例えば投影光学系PLなどにはヘリウムを供給し、かつ環境チャンバ107内には窒素を供給する場合、照明光学系と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間はそれぞれ窒素雰囲気となるので、前述の静圧気体軸受機構などで窒素を用いるようにしてもよい。このとき、窒素とヘリウムとを所定比で混合した気体を静圧気体軸受機構などで使用してもよい。

さらに、前述の静圧気体軸受機構などで使用する第1気体は、照明光学系、及び投影光学系PLに供給するパージ用の第2気体（窒素、ヘリウムなどの不活性ガス）、又は環境チャンバ7に供給する第2気体（不活性ガス、又は化学的にクリーンなドライエアなど）とその組成が全く同一である必要はないし、あるいは組成が同一であってもその純度（濃度）までが同一である必要はない。例えば、第2気体を含む2種類以上の気体（不活性ガス）を混合した混合気体、又は第2気体と同一種類で、かつその純度が第2気体よりも低い気体を第1気体として用いてもよい。

また、露光光の減衰などを低減できる気体（不活性ガス）であれば、その気体が第2気体と異なっても第1気体として用いてもよい。即ち、第2気体と種類が異なってもその光学的な特性（透過率など）が第2気体と同一、又は近い気体であれば、その気体を第1気体として用いることができる。例えば、波長が200nm程度以下である真空紫外域の露光光を用いる露光装置で第2気体としてヘリウムを用いるとき、第1気体としてヘリウム以外の少なくとも1種類の不活性ガス（窒素など）を用いてもよい。さらに、例えば波長が190nm程度以上である露光光を用いる露光装置で、第2気体として窒素を用いるとき、第1気体として窒素以外の少なくとも1種類の不活性ガス、又は化学的にクリーンなドライエア（乾燥空気）を用いてもよい。ここで、化学的にクリーンとは前述のシリコン系有機物などを含む不純物が除去されていることを意味する。

また、本例の露光本体部126は、ステップ・アンド・スキャン方式であるが、一括露光型、又はプロキシミティ方式等であっても本発明が適用されるのは言うまでもない。

なお、上記の実施の形態では、F₂ レーザ光源103の射出面から主コンデンサレンズ系119までの紫外パルス光1Lの光路、及び投影光学系PL内の紫外パルス光1Lの光路にヘリウムガスが供給され、主コンデンサレンズ系119から投影光学系PLの入射面まで、及び投影光学系PLの射出面からウエハWの表面までは窒素が供給されているが、第1の実施の形態および第2の実施の形態に示したヘリウム循環装置および窒素循環装置を本例に適用することもできる。また、第1の実施の形態および第2の実施の形態で説明した変形例もそのまま適用することができる。

なお、前述の第1～第3の実施の形態では、オブチカルインテグレータ（ホモジナイザー）としてフライアイレンズを用いるものとしたが、フライアイレンズの代わりにロッドインテグレータを用いてもよいし、あるいはフライアイレンズとロッドインテグレータとを組み合わせ用いるようにしてもよい。

図7は、図1の第1の実施の形態、図4に示した第2の実施の形態、および図5に示した第3の実施の形態における投影光学系PLの光学素子の保持構造の好適な一例を模式的に示す図である。

筒状の鏡筒 L B 内には 5 枚の屈折型レンズ L 2 0 1 ~ L 2 0 5 がレンズ保持筒 2 5 1, 2 5 2 を介して保持され、鏡筒 L B のレチクル側端にはディストーション、特に非回転対称成分を補正する平行平板 L 2 1 1 がレンズ保持筒 2 5 3 を介して保持され、鏡筒 L B のウエハ側端には球面収差を補正する平行平板 L 2 1 2 と偏心コマ収差を補正する平行平板 L 2 1 3 とがレンズ保持部材 2 5 4 を介して保持されている。

レンズ L 2 0 1, L 2 0 2 は板ばね 2 6 1 で保持筒 2 5 1 に押圧保持されている。図 8 に詳細を示すように、板ばね 2 6 1 の一端はレンズ保持筒 2 5 1 の突部 2 5 1 a にボルト 2 6 2 で螺着され、他端はレンズ L 2 0 1 の外周部の押圧平面部に押圧され、これにより、レンズ L 2 0 1 が突部 2 5 1 a に押圧されて挟持される。レンズ L 2 0 2 も同様にしてレンズ鏡筒 L B に固定される。レンズ L 2 0 1 も L 2 0 2 も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒 2 5 1 を介してレンズ鏡筒 L B に保持される。

図 7 に示すように、レンズ L 2 0 3 ~ L 2 0 5 はねじ環 2 6 3 で保持筒 2 5 2 に押圧保持されている。保持筒 2 5 2 の内壁には雌ねじが刻設され、ねじ環 2 6 3 が螺合されている。ねじ環 2 6 3 を螺進させてその端面をレンズ L 2 0 3 ~ L 2 0 5 の外周部の押圧平面部に押圧すると、レンズ L 2 0 3 ~ L 2 0 5 は保持筒 2 5 2 の突部 2 5 2 a に押圧されて挟持される。レンズ L 2 0 3 ~ L 2 0 5 も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒 2 5 2 を介してレンズ鏡筒 L B に保持される。

図 7 に示すように、平行平板 L 2 1 1 は板ばね 2 7 1 で保持筒 2 5 3 に押圧保持されている。保持筒 2 5 3 は鏡筒 L B に螺着されている。板ばね 2 7 1 の一端は保持筒 2 5 3 にボルト 2 7 2 で螺着され、他端は平行平板 L 2 1 1 の外周部に押圧され、これにより、平行平板 L 2 1 1 が保持筒 2 5 3 に押圧されて挟持される。平行平板 L 2 1 1 も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒 2 5 3 を介してレンズ鏡筒 L B に保持される。

図 7 に示すように、平行平板 L 2 1 2 は板ばね 2 7 3 で保持筒 2 5 4 に押圧保持されている。板ばね 2 7 3 の一端は保持筒 2 5 4 にボルト 2 7 4 で螺着され、他端は平行平板 L 2 1 2 の外周部に押圧され、これにより、平行平板 L 2 1

2が保持筒254に押圧されて挟持される。保持筒254は保持筒252と鏡筒LBとの間に挟持されている。平行平板L213は平行平板L211との間にスペーシング275を挟んで保持筒254に固定される。平行平板L212, L213も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒254を介して鏡筒LBに保持される。

なお、板ばね261, 271, 273としてリング状板ばねを使用することができるが、帯状の複数の板ばねを所定角度ごとに配置してもよい。また以上では、板ばねあるいはねじ環により光学素子を保持筒に押し付けて保持するようにしたが、他の形態の要素で光学素子を保持してもよい。

次に図9, 図10によりフライアイレンズ11, 111の詳細を説明する。

図9, 図10に示すように、フライアイレンズ11, 111は、4角柱形状の複数のロッドレンズL260を図10(b)に示すようにマトリクス状に配置して保持装置280で束ねて構成したものである。保持装置280は内側にロッドレンズL260を束ねて収容する矩形環状の枠281, 282と、枠281, 282で束ねられているロッドレンズL260を4方の側面で押さえる押さえ板283~286と、ロッドレンズL260の一方の端面に配設されロッドレンズL260の光軸方向の位置を揃えるための石英板287と、押さえ板283~286を介してロッドレンズL260を側方から押圧するための押さえブロック288~291と、一端が押さえブロック288~291に固定され他端で石英板287を押さえる押さえ板292~295とを備える。押さえブロック288~291は図示しない固定金具に取り付けられている。このように、ロッドレンズL260は接着材（又は充填材）は一切用いることなく束ねられて保持されている。なお、図10(b)において、斜線部分以外の領域がフライアイレンズとして有効に使用される領域である。

このように、レンズや反射鏡などの光学素子は接着剤を用いることなく板ばねやねじ環により保持筒などの保持部材に保持される。したがって、ArFエキシマレーザの照射により接着剤の有機溶剤が気化することがなくなり、有機物質により光学素子の表面を汚染することが防止される。その結果、光学系の透過率の低下が防止される。また、光学素子の表面に付着した汚染物質はエキシマレーザ

による光洗浄効果により光学素子表面から剥離され、露光時間が経過するとともに透過率が上昇し、エキシマレーザの照射が停止されると再び付着して透過率が低下する現象が知られているが、光学素子を接着剤を使用せずに保持部材に保持することにより、汚染物質自体の発生が抑制され、光学系の透過率の変動を抑制できる。

以上説明した投影光学系の一例と請求の範囲の要素との対応において、各種レンズ 9 A (1 0 9 A), 9 B (1 0 9 B), 1 1 (1 1 1), 1 3 (1 1 3), L 2 0 1, L 2 0 2…が光学素子を、保持筒 2 5 1, 2 5 2, 2 5 3, 2 5 4などが保持部材を、板ばね 2 6 1, 2 7 1, 2 7 3や押さえ環 2 6 3が押し付け機構をそれぞれ構成する。

産業上の利用可能性

本発明の露光装置及びデバイス製造装置によれば、露光エネルギービーム（露光光）に対する透過率が高く熱伝導率の良好な気体の少なくとも一部を回収しているため、露光エネルギービームの利用効率を高め、かつ露光装置の光学部材等の冷却効率を高めた上で、その気体の使用量を抑制できる利点がある。即ち、その気体を或る程度までリサイクルできて、露光装置の運転コストを低減できる。

また、その気体がヘリウムである場合には、ヘリウムは透過率が高く熱伝導率が高い上に安全であるため、特に露光エネルギービームの利用効率を高めて冷却効率も高められる。一方、ヘリウムは存在度が低く高価であるため、本発明による運転コストの低減効果は特に大きい。

また、気体回収装置は、複数の露光装置で共用される場合には、回収コストを更に低減できる。

また、気体回収装置で回収された気体を気体供給装置の少なくとも一部を介して露光エネルギービームの光路上に再循環させる場合には、補充用の気体の量を減らすことができる。

また、気体供給装置は、気体回収装置から供給される気体の濃度を計測する濃度計と、その気体が封入された気体源と、その濃度計の計測結果に応じてその気

体源からの気体をその気体回収装置から供給される気体に補充する制御部と、を有する場合には、露光エネルギービームの光路上に所定の純度（濃度）以上のその気体を常に供給できる利点がある。また、その気体を高圧に圧縮して、又は液化して保存するときには、狭い空間にその気体を大量に保存できる。

また、本発明の露光装置によれば、露光エネルギービーム（露光光）の光路の少なくとも一部に所定の透過率の高い気体（第2の気体）を供給する場合に、気体制御式駆動装置用の気体をその透過率の高い第2の気体と同種類にしている。従って、その第2の気体の濃度が低くなることが無いため、その露光エネルギービームを高い効率で基板まで導くことができ、露光工程のスループットが向上する利点がある。

また、気体制御式駆動装置は、気体軸受け方式でガイド面と接触するステージ装置である場合には、このステージはマスクや基板に近い位置に配置されるため、特に露光エネルギービームの透過率が高く維持される。

また、その露光エネルギービームが250nm以下の波長の紫外光である場合に、その第2の気体を窒素、又はヘリウムとする場合、窒素は安価であると共に、ヘリウムは透過率が高く、かつ熱伝導率が良好である。

また、その露光エネルギービームがX線である場合に、その第2の気体を窒素、又はヘリウムとする場合、X線がそれらの気体を通過する距離が短ければ或る程度の透過率が得られる。

さらに、本発明の露光装置によれば、照明光学系と投影光学系の光学素子の全てを接着剤を用いることなく押し付け機構により保持部材に保持するようにしたので、紫外光の照射により接着剤の有機溶剤が気化して光学素子の表面を汚染することが防止され、透過率の低下や変動を抑制できる。また、複数のロッドレンズで構成されるフライアイレンズを接着剤を使用せずに束ねるようにしたので、紫外光の照射により接着剤の有機溶剤が気化して光学素子の表面を汚染することが防止され、透過率の低下や変動を抑制できる。

請求の範囲

1. 転写用のパターンが形成されたマスクに露光エネルギービームを照射する照明系と、前記マスクのパターンが転写される基板を位置決めするステージ系と、を有する露光装置において、

前記露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に、前記露光エネルギービームに対する透過率が高く、かつ熱伝導率の良好な気体を供給する気体供給装置と、

前記気体供給装置から前記露光エネルギービームの光路上に供給された後に前記気体の少なくとも一部を回収する気体回収装置と、を備えたことを特徴とする露光装置。

2. 前記気体はヘリウムであることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

3. 前記気体回収装置は、複数の露光装置で共用されることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

4. 前記気体回収装置で回収された前記気体を前記気体供給装置の少なくとも一部を介して前記露光エネルギービームの光路上に再循環させることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

5. 前記気体供給装置は、

前記気体回収装置から供給される前記気体の濃度を計測する濃度計と、

前記気体が気体の状態、又は液化された状態で封入された気体源と、

前記濃度計の計測結果に応じて前記気体源からの気体を前記気体回収装置から供給される気体に補充する制御部と、を有することを特徴とする請求項4記載の露光装置。

6. 前記気体供給装置は、
前記気体を液化保存、又は高圧保存する気体源と、
該気体源内の液化ガス、又は高圧ガスを前記気体に戻す変換装置と、
前記気体源から前記気体が前記露光装置に供給される前に前記気体の温度及び圧力を調整する調整装置と、を有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。
7. 前記気体回収装置は、前記回収した気体を液化、又は高圧化して保存することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。
8. 請求項 1 記載の露光装置を含む複数の露光装置を有し、該複数の露光装置で複数のデバイスパターンを露光対象の基板上に重ね合わせて転写してマイクロデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造装置。
9. 所定の露光エネルギービームでマスクを照明し、前記マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置において、
制御用の第 1 の気体を用いて所定の動作を行う気体制御式駆動装置を備え、
前記露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に透過率の良好な第 2 の気体を供給すると共に、
前記気体制御式駆動装置用の前記第 1 の気体として、前記第 2 の気体と同じ種類の気体を使用することを特徴とする露光装置。
10. 前記気体制御式駆動装置は、気体軸受け方式でガイド面と接触するステージ装置、気体式のシリンダ装置、又は気体を緩衝材の一部に使用する防振台であることを特徴とする請求項 9 記載の露光装置。
11. 前記露光エネルギービームが 250 nm 以下の波長の紫外光である場合に、前記第 2 の気体は窒素、又はヘリウムであることを特徴とする請求項 9 記載の露光装置。

1 2. 前記露光エネルギービームが200nm以下の波長の紫外光である場合に、前記第2の気体はヘリウムであることを特徴とする請求項9記載の露光装置。

1 3. 前記露光エネルギービームがX線である場合に、前記第2の気体は窒素、又はヘリウムであることを特徴とする請求項9記載の露光装置。

1 4. 保持部材に保持される複数の光学素子を有し、照明光源からの照明光をマスクに照射する照明光学系と、

保持部材に保持される複数の光学素子を有し、前記マスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系とを備える露光装置において、

接着剤を用いることなく前記光学素子のすべてを押し付け機構を用いて前記保持部材に保持することを特徴とする露光装置。

1 5. 請求項14の露光装置において

前記押し付け機構は、一端を前記保持部材の内周部に固定し、他端で前記光学素子の外周部を押圧する板ばねであることを特徴とする露光装置。

1 6. 請求項14の露光装置において、

前記押し付け機構は、前記保持部材の内周部に刻設したねじ部に螺合し、螺進させて前記光学素子の外周部を押圧するねじ環であることを特徴とする露光装置。

1 7. 複数のロッドレンズを束ねたフライアイレンズを含む複数の光学素子を有し、照明光源からの照明光をマスクに照射する照明光学系と、

保持部材に保持される複数の光学素子を有し、前記マスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系とを備える露光装置において、

接着剤を用いることなく前記複数のロッドレンズを保持装置で束ねたことを特徴とする露光装置。

1 8. マスクに露光エネルギービームを照射するとともに、前記マスクを介して前

記露光エネルギービームで基板を露光する装置の製造方法において、

前記露光エネルギービームの光路の少なくとも一部をほぼ密封する気体室に、
前記露光エネルギービームの減衰を低減する気体を供給する供給管を接続し、

前記気体室に供給される気体の少なくとも一部を回収する回収管を、前記気体室と、前記気体室が配置される筐体との少なくとも一方に接続することを特徴とする露光装置の製造方法。

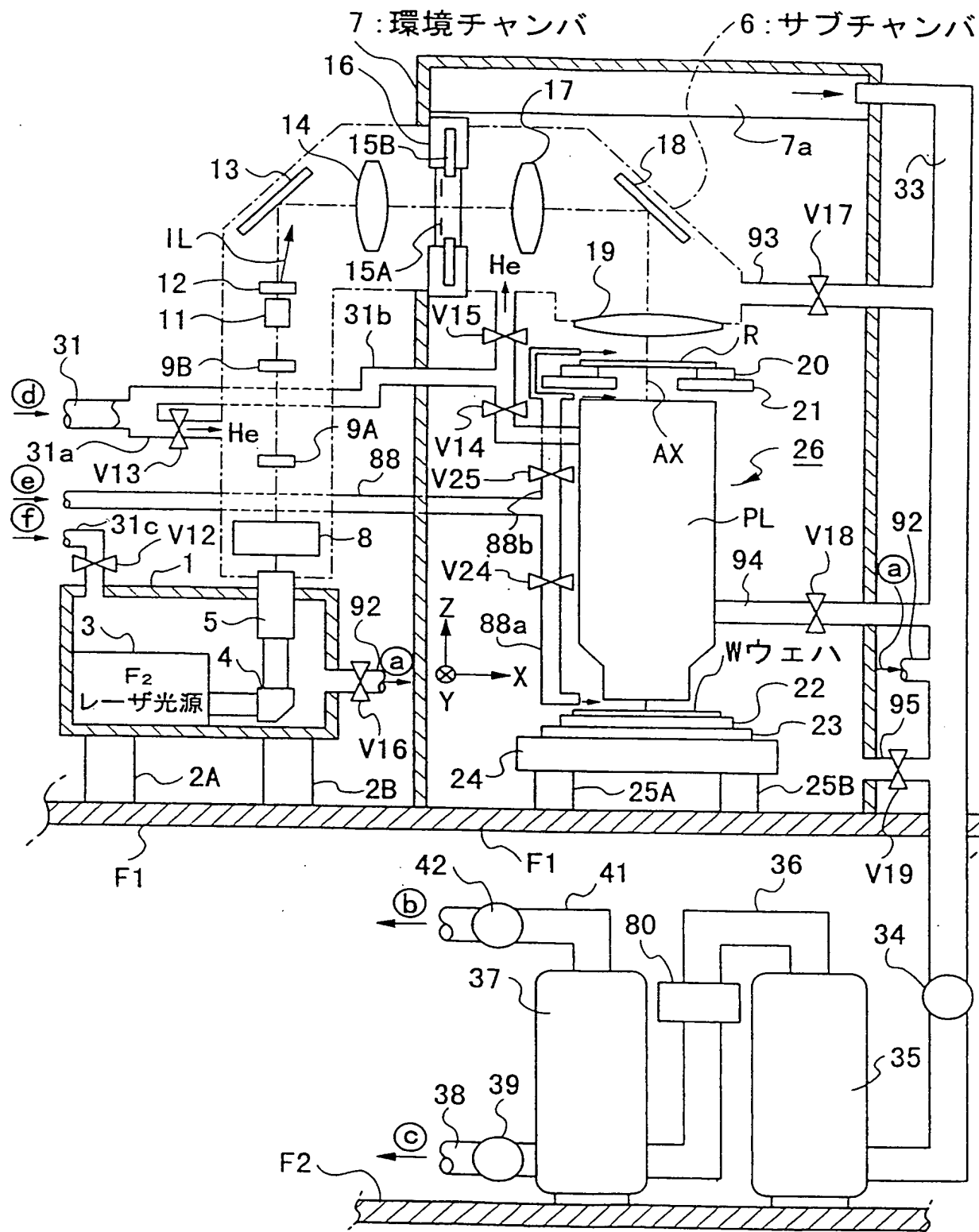
19. 前記回収される気体から不純物を除去する除去装置に前記回収管を接続するとともに、前記除去装置と前記供給管とを接続することを特徴とする請求項18に記載の露光装置の製造方法。

20. 前記露光エネルギービームが通る光学素子を、接着剤を用いることなく保持部材に固定して前記露光装置に組み込むことを特徴とする請求項18又は19に記載の露光装置の製造方法。

21. 前記露光装置に設けられ、前記気体と光学的な特性が実質的に同じである気体を用いる気体制御式駆動装置と、該気体の供給源とを接続することを特徴とする請求項18～21のいずれか一項に記載の露光装置の製造方法。

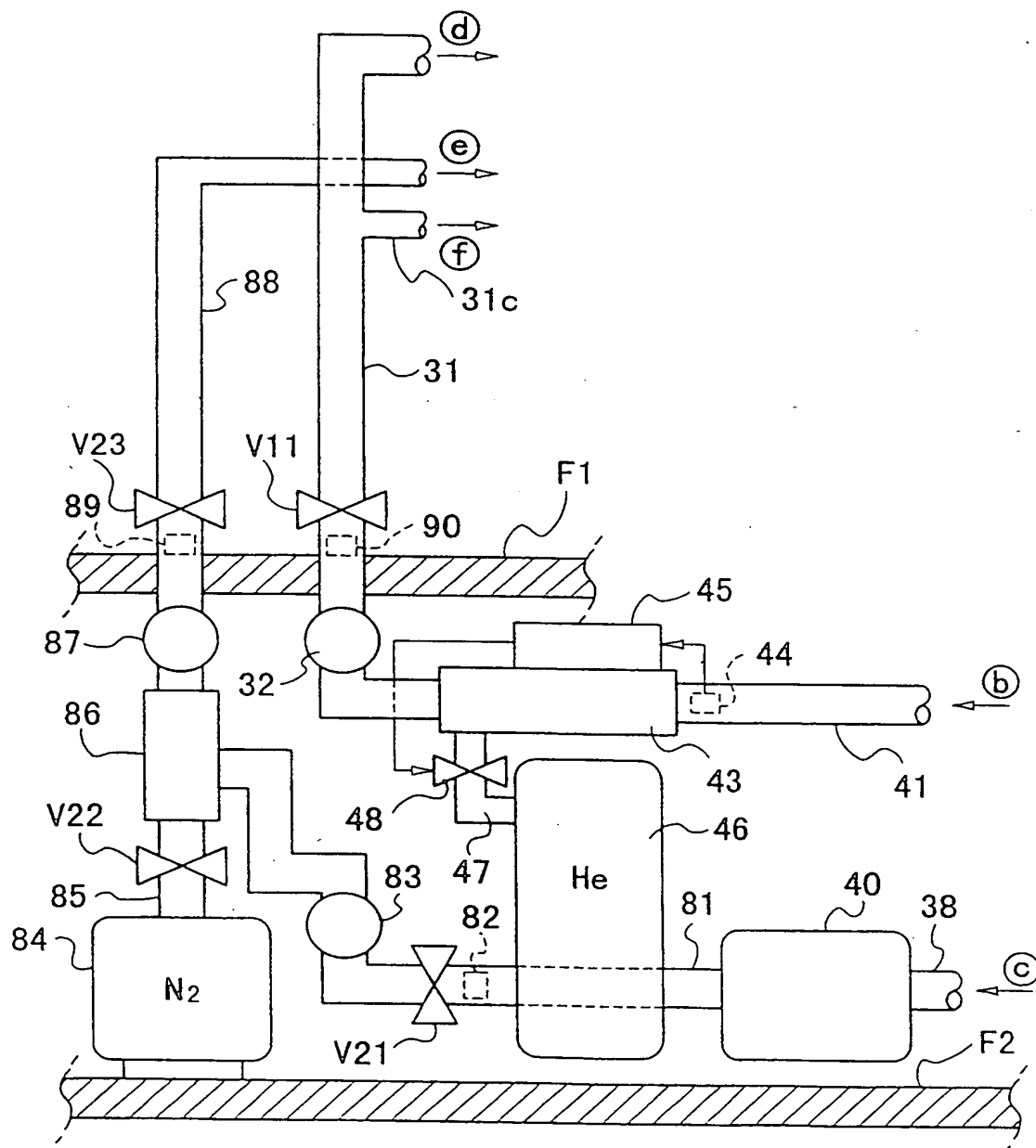
1/10

図 1



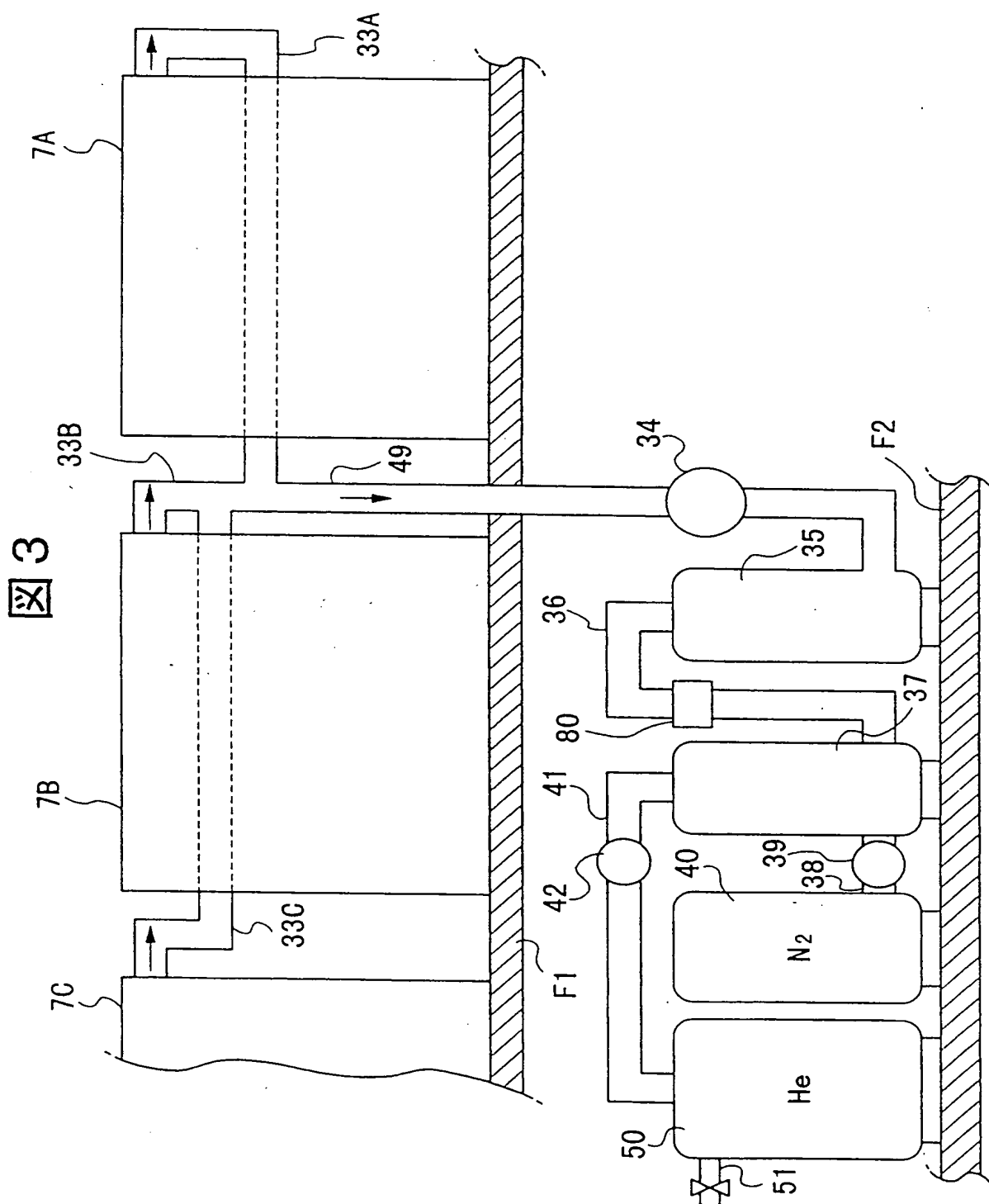
THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 2



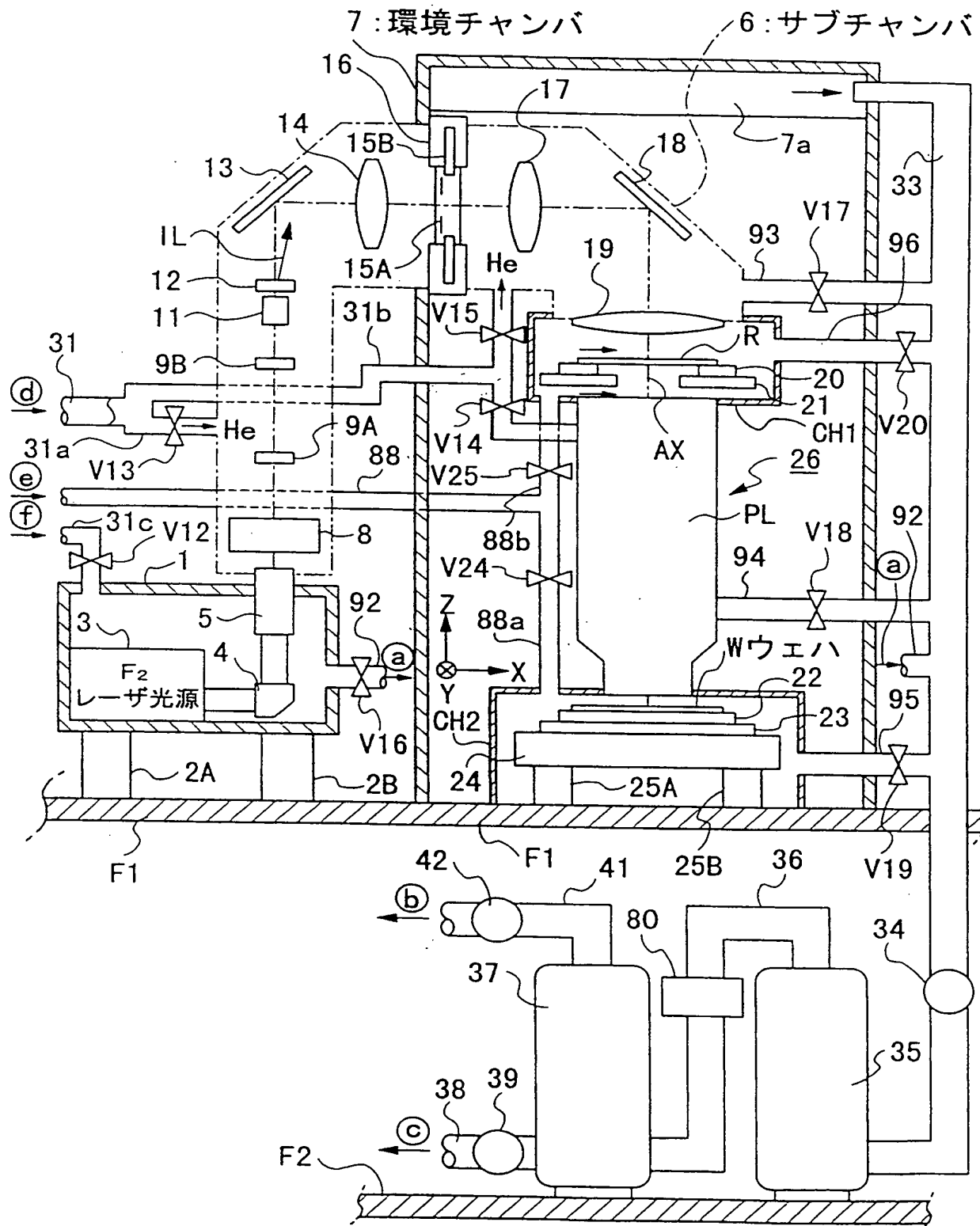
THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/10



THIS PAGE BLANK (USPTO)

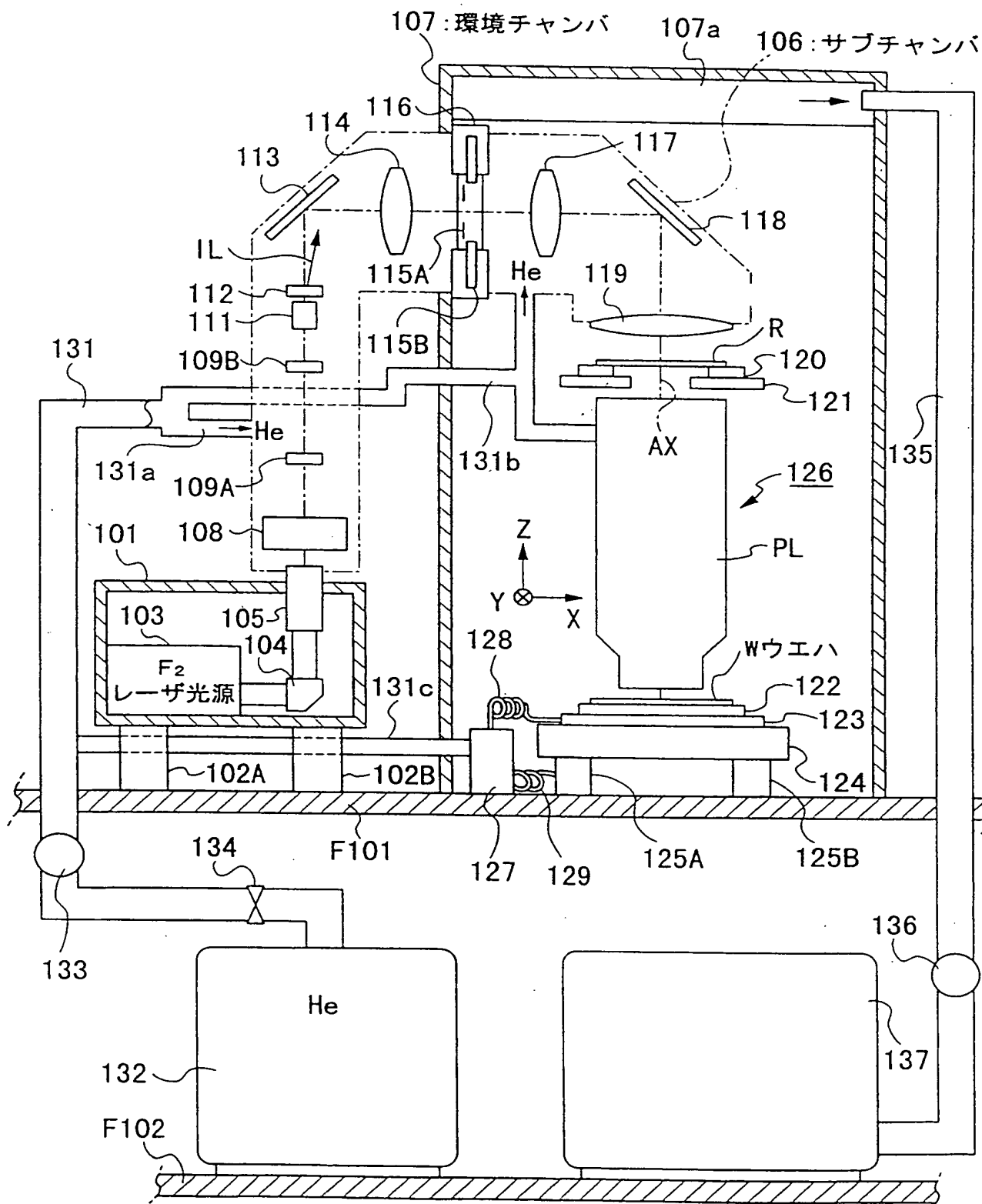
图 4



THIS PAGE BLANK (USPTO)

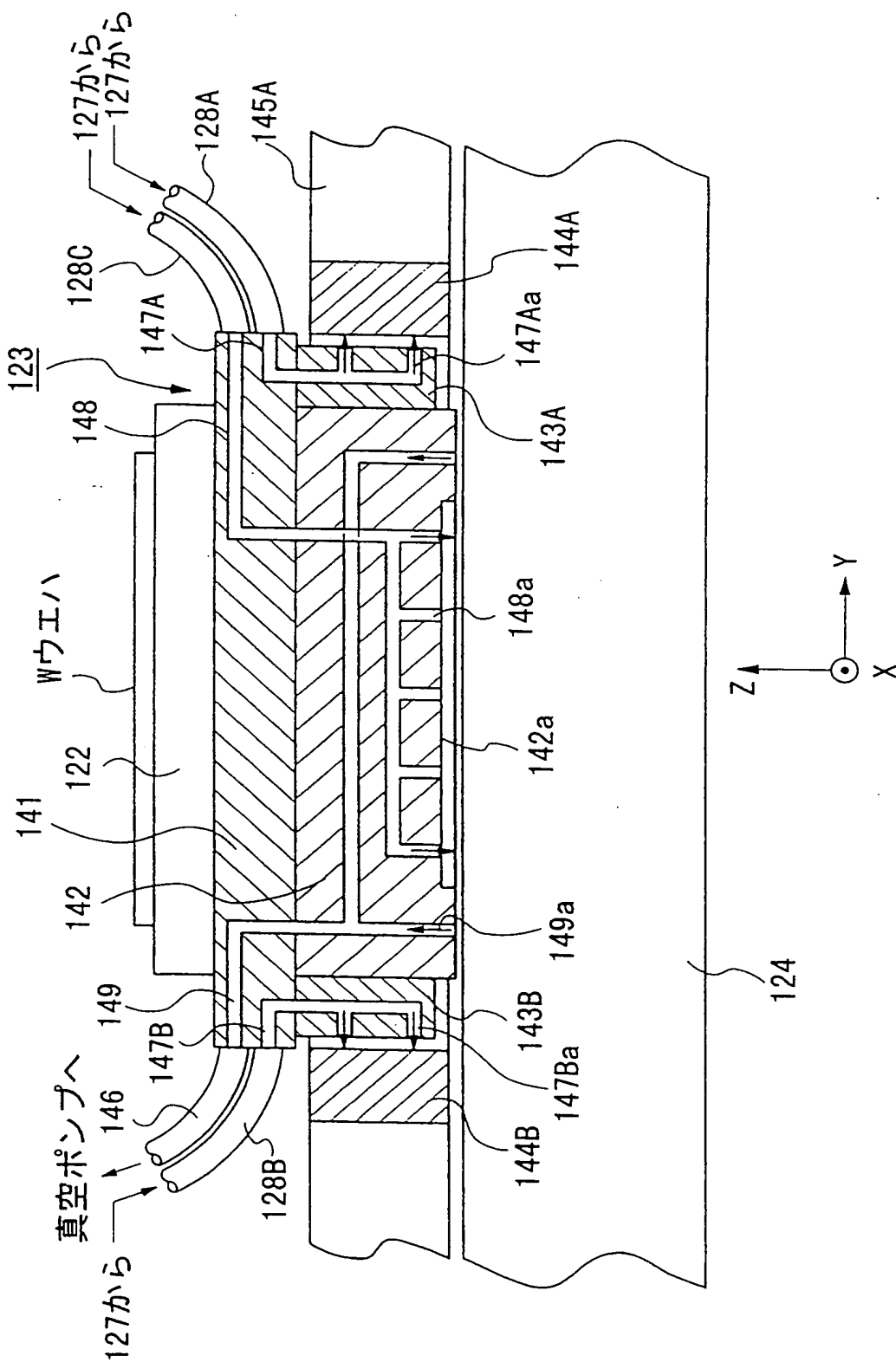
5/10

図 5



THIS PAGE BLANK (USPTO)

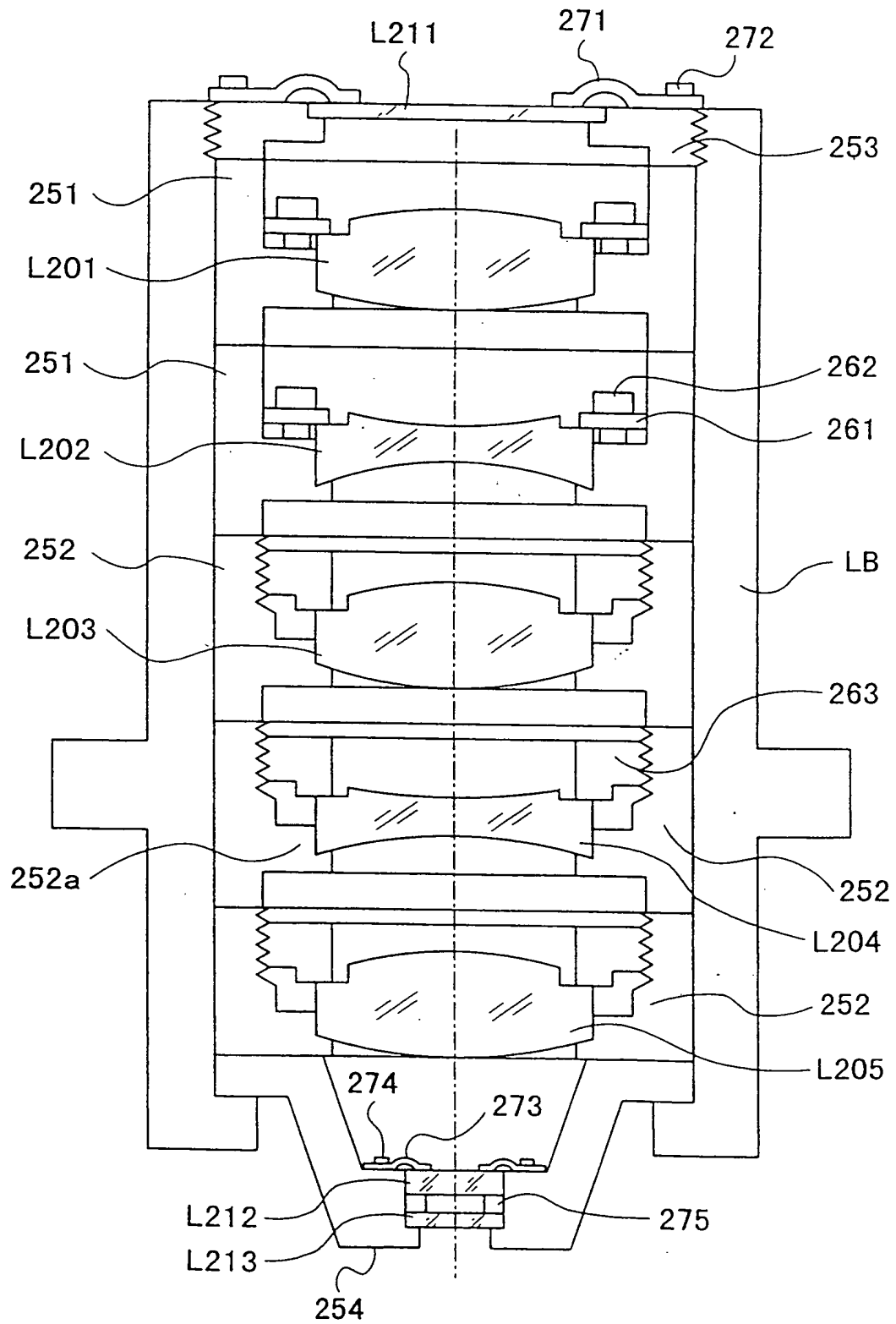
6
X



THIS PAGE BLANK (USPTO)

7/10

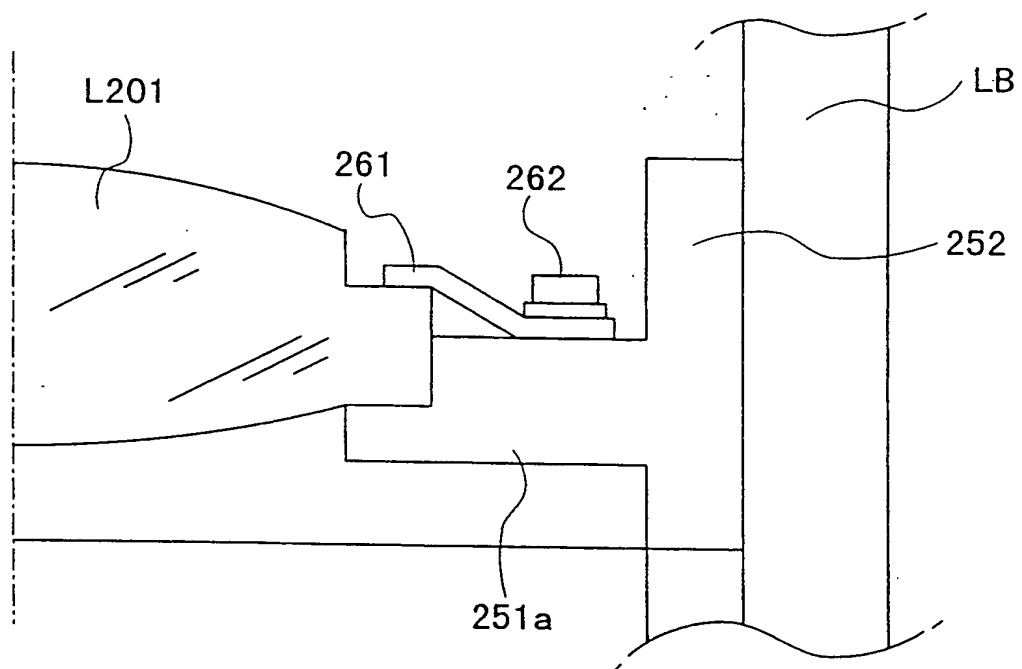
図 7



THIS PAGE BLANK (USPTO)

8/10

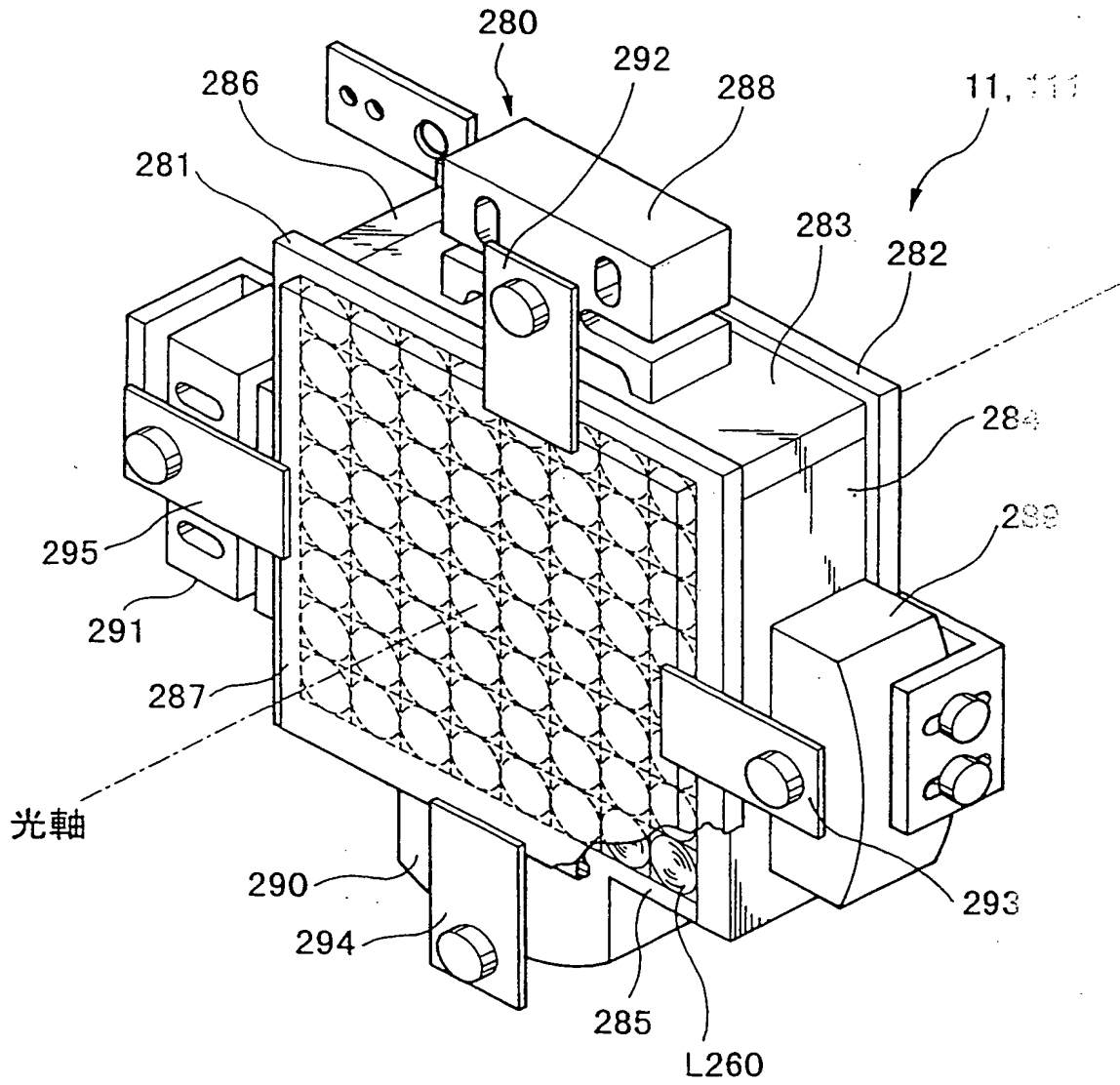
図 8



THIS PAGE BLANK (USPTO)

9/10

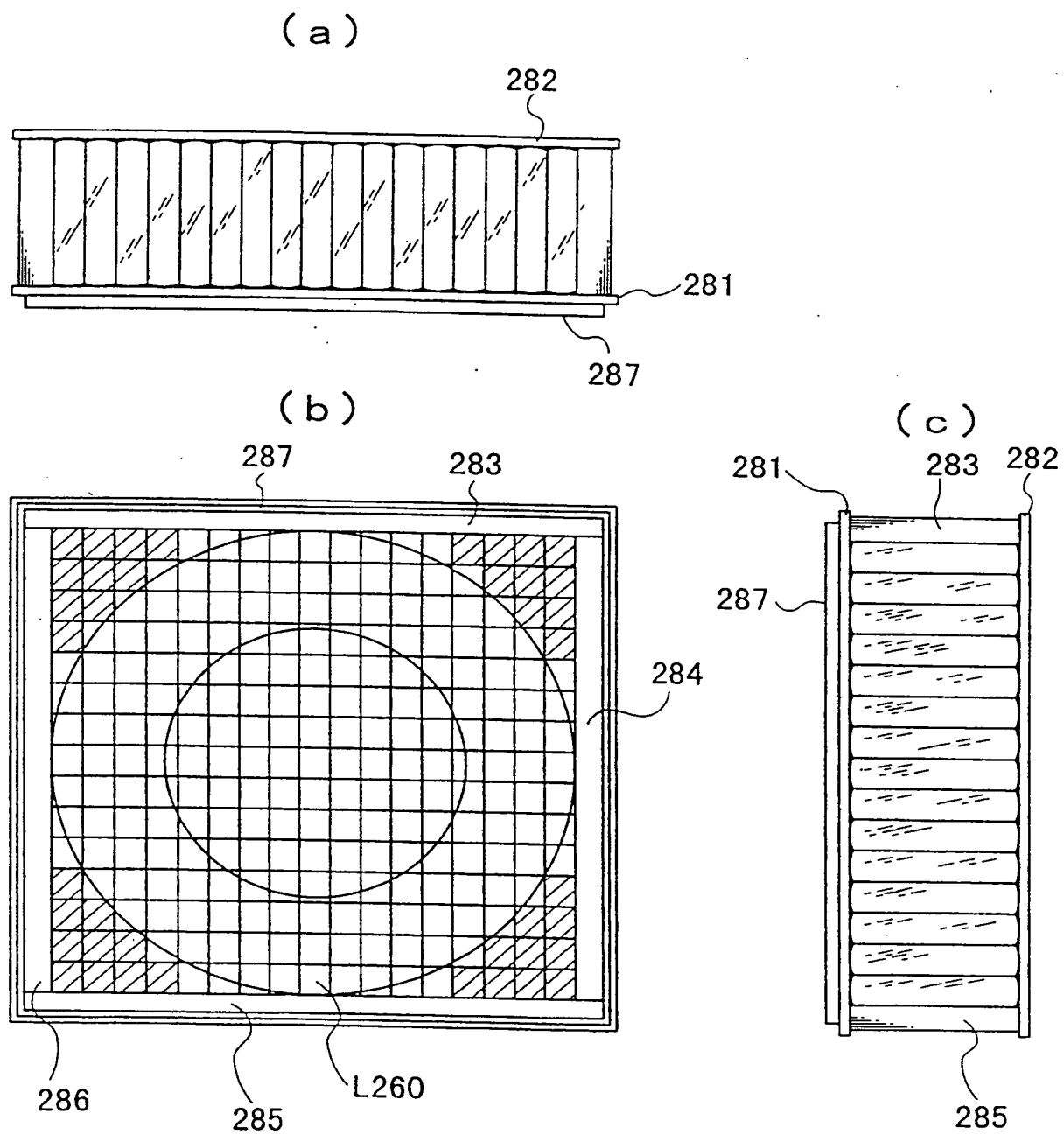
図 9



THIS PAGE BLANK (USPTO)

10/10

図 1 O



THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05073

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁶ H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁶ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1999 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 9-283419, A (Canon Inc.), 31 October, 1997 (31. 10. 97), Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 4, 5, 8, 18, 19 3, 6, 7, 20
X	JP, 7-122505, A (Canon Inc.), 12 May, 1995 (12. 05. 95), Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 4, 8, 18, 19 3, 5-7, 20
X	JP, 61-87124, A (GCA Corp.), 2 May, 1986 (02. 05. 86), Fig. 1 & DE, 3524533, A & FR, 2568025, A & US, 4616908, A	1, 2, 8, 18
X	JP, 8-327895, A (Nikon Corp.), 13 December, 1996 (13. 12. 96), Par. No. [0003] ; Fig. 6 (Family: none)	14, 16 15, 20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
9 February, 1999 (09. 02. 99)

Date of mailing of the international search report
16 February, 1999 (16. 02. 99)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05073

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 61-87106 (Laid-open No. 62-199714) (Dainippon Screen Mfg.Co., Ltd.), 19 December, 1986 (19. 12. 86) Pages 3, 4 ; Fig. 9 (Family: none)	14, 17 15, 16, 20
Y	JP, 9-186077, A (Nikon Corp.), 15 July, 1997 (15. 07. 97), Fig. 1 (Family: none)	1-13, 18-21
PX PY	JP, 9-306825, A (Nikon Corp.), 28 November, 1997 (28. 11. 97), Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 8, 18 3-7, 9-13, 19-21

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/05073

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int.Cl⁶ H01L21/027, G03F 7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int.Cl⁶ H01L21/027, G03F 7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1999年
日本国公開実用新案公報 1971-1999年
日本国登録実用新案公報 1994-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P, 9-283419, A, (キャノン株式会社), 31. 10 月. 1997, (31. 10. 97), 第1図 (ファミリーなし)	1, 2, 4, 5, 8, 18, 19 3, 6, 7, 20
X Y	J P, 7-122505, A, (キャノン株式会社), 12. 5 月. 1995, (12. 05. 95), 第1図 (ファミリーなし)	1, 2, 4, 8, 18, 19 3, 5-7, 20
X	J P, 61-87124, A, (ジー・シー・エー・コーポレーシ ョン), 2. 5月. 1986, (02. 05. 86), 第1図 & DE, 3524533, A & FR, 2568025, A & US, 4616908, A	1, 2, 8, 18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 02. 99

国際調査報告の発送日

16.02.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

正山 旭



4 M

9276

電話番号 03-3581-1101 内線 3464

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP, 8-327895, A, (株式会社ニコン), 13. 12 月. 1996, (13. 12. 96), 第【0003】欄、第6図 (ファミリーなし)	14, 16 15, 20
X Y	日本国実用新案登録出願61-87106号 (日本国実用新案登録 出願公開62-199714号) の願書に添付した明細書及び図面 の内容を撮影したマイクロフィルム, (大日本スクリーン製造株式 会社), 19. 12月. 1986 (19. 12. 86), 第3頁, 第4頁, 第9図 (ファミリーなし)	14, 17, 15, 16, 20
Y	JP, 9-186077, A, (株式会社ニコン), 15. 7月. 1997, (15. 07. 97), 第1図 (ファミリーなし)	1-13, 18-21
PX PY	JP, 9-306825, A, (株式会社ニコン), 28. 11 月. 1997, (28. 11. 97), 第1図 (ファミリーなし)	1, 2, 8, 18 3-7, 9-13, 19-21

EXPOSURE APPARATUS, APPARATUS FOR MANUFACTURING DEVICES, AND METHOD OF MANUFACTURING EXPOSURE APPARATUSES

Technological Field

The present invention relates to an exposure apparatus, an apparatus for manufacturing devices, and a method of manufacturing exposure apparatuses, which are employed in transferring a mask pattern onto a substrate in a lithography process for producing microdevices such as, for example, semiconductor elements, liquid crystal display elements, image pickup elements, or thin film magnetic heads or the like, and are preferably employed when exposure light in the ultraviolet band having a wavelength of approximately 400 nm or less, and particularly when exposure light of the vacuum ultraviolet (VUV) band having a wavelength of 200 nm or less, is employed.

Background Art

In exposure apparatuses such as steppers or the like which are employed, for example, in the manufacture of semiconductor devices, in order to provide an increase in the degree of integration or minuteness of the semiconductor devices, an increase in resolution is particularly necessary. This resolution is essentially proportional to the wavelength of the exposure light, so that conventionally the wavelengths of the exposure light were progressively shortened. That is to say, the exposure light employed changed from the g line in the visible band of mercury lamps (wavelength 436 nm) to the i line in the ultraviolet band (wavelength 365 nm), and recently, KrF excimer laser light (wavelength 248 nm) has

come to be employed. Additionally, presently, ArF excimer laser light (wavelength 193 nm), F₂ laser light (wavelength 157 nm) and Ar₂ laser light (wavelength 126 nm) are being considered for use. Furthermore, in conventional X-ray lithography research, the use of light having wavelengths of 13 nm, 11 nm, or 7 nm, which are in the so-called extreme ultraviolet (EUV or XUV) band and are close to X-rays, and the use of X-rays having a wavelength of approximately 1 nm, has been considered.

However, when wavelength bands of less than approximately that of ArF excimer lasers, that is to say, the vacuum ultraviolet band (VUV) of approximately 200 nm or less, are employed, absorption occurs as a result of the oxygen in the air, and ozone is produced, and transmittivity declines. In exposure apparatuses which employ ArF excimer laser light, for example, the majority of the gas in the optical path of the exposure light is replaced by nitrogen, so that the so-called nitrogen purge is conducted. Furthermore, at wavelength bands of less than approximately that of the F₂ laser, absorption occurs even with nitrogen. In this case, if the region of nitrogen passage is an extremely narrow region, the amount of absorption is slight, and no obstacle is presented to exposure; however, with a long optical path, the amount of light is reduced, and proper amounts of exposure can not be obtained. When light in a wavelength band shorter than the wavelength of the ArF excimer laser (less than approximately 190 nm) and particularly when light in the wavelength band of less than approximately the wavelength of the F₂ laser, is employed, then it is necessary either to replace the majority of gas of the optical path of the light with another gas which allows transmission of light (an inert gas other than nitrogen), or to provide a vacuum.

On the other hand, when the exposure light passes an illumination optical system or optical elements, such as lenses and mirrors, within a projection optical system, then there is absorption of the heat energy by these optical elements as well. When the optical elements experience thermal expansion as a result of the heat energy absorbed in this way, this leads to degradation in image formation characteristic, such as changes in magnification, focal shift displacement, or the like. In order to prevent this degradation in image formation characteristic, conventionally, waste heat treatment was conducted, in which temperature controlling gases were caused to flow in predetermined spaces between lenses, and the side surfaces of lenses or the rear surfaces of mirrors or the like were subjected to air cooling or liquid cooling. Recently, requirements have also increased with respect to stability of the image formation characteristic, so that an even higher level of treatment is required with respect to this waste heat treatment as well.

As described above, in exposure apparatuses, when exposure light in a wavelength band of approximately 190 nm or less is employed, it is desirable that the gas of the majority of the optical path be replaced with a gas having an absorption ratio smaller than nitrogen, or that this be made a vacuum. However, when the latter is done and the majority of the optical path is made into a vacuum, the manufacturing costs of the exposure apparatus increase, and the throughput of the exposure apparatus declines. Furthermore, in the exposure apparatus, it is desired that the heat energy of the exposure light be more efficiently exhausted.

In order to simultaneously address these problems, a gas may be supplied to the majority of the optical path of the exposure light, which gas is inert and has a high

transmittivity and has good thermal conductivity (in other words, has a low atomic weight), and which is temperature controlled. Currently, the most highly functional gas for use as this type of inert gas having good thermal conductivity, and which is moreover stable, is helium (He). However, helium is present in the earth's crust and in the atmosphere at an extremely low rate, and is high in cost, so that as the amount thereof used increases, the operational cost of the exposure apparatus rise greatly, and this is undesirable. Furthermore, because helium has a low atomic weight, it tends to leak from the gaps in the cover and the like which enclose the optical path of the exposure apparatus, and this presents a problem in that if helium is simply circulated within the cover, the amount of helium progressively decreases.

In view of these points, the present invention has as an object thereof to provide an exposure apparatus and a apparatus for manufacturing devices which, in the case in which a gas having a high transmittivity (inert) and having good thermal conductivity is supplied to at least a portion of an optical path of an exposure energy beam (exposure light), are capable of controlling the amount of this gas which is employed.

Furthermore, as described above, in the exposure apparatus, when exposure light having a wavelength of approximately 200 nm or less is employed, if the optical path of the exposure light is not made into a vacuum, it is necessary to replace the majority of the optical path of the exposure light with a gas having good transmittivity (such as nitrogen or the like). Furthermore, even where the wavelength is within a range of 250 - 200 nm, in order to obtain good transmittivity, it is desirable that the optical path of the exposure light be replaced with nitrogen or the like.

In connection with this, because the exposure apparatus is usually stored within a box shaped chamber having good airtightness and in order to conduct the positioning of reticles or wafers or the like in a highly precise manner in the exposure apparatus, a stage system, in which movement is conducted along a guide surface in the manner of an air bearing without contact, is provided. For this reason, when this type of stage system is employed, the compressed air sprayed along the guide surface leaks out into the chamber, and this air mixes with the gas having good transmittivity, such as nitrogen or the like, of the optical path of the exposure light, so that a problem is caused in that the transmittivity with respect to the exposure light progressively decreases. When the transmittivity decreases in this manner, the illumination intensity on the wafer decreases, so that in order to obtain the proper amount of exposure, it is necessary to lengthen the exposure period, and thus the throughput of the exposure process declines in an undesirable manner.

Furthermore, in the exposure apparatus, in addition to the stage system, equipment is provided for conducting positioning or vibration isolation or the like using air; there is also a danger that this air generated by this equipment will cause a decrease in the transmittivity of the exposure light.

In view of these points, the present invention has as an object thereof to provide an exposure apparatus which, in the case in which a predetermined gas having a high transmittivity is supplied to at least a portion of the optical path of an exposure energy beam (exposure light), is capable of guiding this exposure energy beam to the substrate which is the object of exposure such as a wafer or the like with a high use efficiency.

Furthermore, when conducting various exposure experiments by means of a projection exposure apparatus having a comparatively large field size using an excimer laser light source, the present inventors discovered a novel phenomenon, in which, by means of the application of illumination light in an ultraviolet wavelength band of, for example, 350 nm or less (a KrF exposure excimer laser having a wavelength of 248 nm, or a ArF excimer laser having a wavelength of 193 nm, or the like), the transmittivity or reflectivity of the optical elements or coating materials of the optical elements (for example, thin films such as reflection prevention films or the like) within the projection optical system varied dynamically. It has been made clear that this phenomenon of the dynamic fluctuation of transmittivity can be generated not merely with respect to the optical elements within the projection optical system, but also with respect to the optical elements or reticles (silica plates) themselves within the illumination optical system which illuminates the reticle or within the light transmission system which conveys the illumination light emitted from a light source positioned beneath the floor of the clean room to the illumination optical system within the exposure apparatus itself. In the present specification the term illumination optical system includes the light transmission system.

Such a phenomenon is thought to be produced when impurities contained within the gas (air, nitrogen gas, or the like) present in spaces within the projection optical path or the illumination optical path, molecules of organic matter generated by filler material or adhesives used to affix the optical elements to the barrel, or impurities (for example, water molecules, hydrocarbon molecules, or other substances which scatter the illumination light) generated from the inner wall of the barrel (the coated surface for preventing reflection or

the like), are deposited on the surface of the optical elements, or enter into the illumination optical path (float). As a result, a serious problem is caused in that the transmittivity or reflectivity of the projection optical system or illumination optical system can vary greatly within a comparatively short period of time.

It is an object of the present invention to provide a projection exposure apparatus which supports optical elements such as lenses or reflection mirrors or the like which comprise the projection optical system or illumination optical system without the use of adhesives or fillers.

DISCLOSURE OF THE INVENTION

The exposure apparatus in accordance with the present invention is, in an exposure apparatus having an illumination system (3, 11, 13, 14, 17-19) for applying an exposure energy beam to a mask forming a pattern for transfer, and a stage system (20-24) which positions a substrate to which the mask pattern is to be transferred, a gas supply apparatus (31, 43, 46) which supplies a gas having a high transmittivity with respect to the exposure energy beam and having good thermal conductivity to at least a portion of the optical path of the exposure energy beam, and a gas recovery apparatus (33 - 37, 41, 42) which recovers at least a portion of the gas dispersed after being supplied to the optical path of the exposure energy beam from the gas supply apparatus, are provided.

In accordance with this present invention, because it is possible to recover and reuse (recycle) a portion of the gas supplied to the optical path, it is possible to control the amount

of this gas employed. Accordingly, the operational costs decrease when the gas is high in cost.

In this case, an example of the gas is helium (He). Helium is safe and has a high transmittivity even when exposure light of the wavelength band of 150 nm or less is employed, and because the thermal conductivity thereof is high, being approximately 6 times that of nitrogen (N_2), the cooling effect with respect to the optical element is high.

Furthermore, where the gas recovery apparatus recovers, for example, helium dispersed in the air, it is possible to separate the helium by processing the oxygen present in the mixed gas using an oxygen adsorbing material, and cooling the nitrogen, so that the remaining helium may be recovered. Alternatively, by cooling the mixed gas to the temperature of liquid air, and removing the liquid which is generated, it is easily possible to recover only the helium which remains in a gaseous state.

Furthermore, it is desirable that the gas recovery apparatus be employed in common with a plurality of exposure apparatuses. By means of this, the equipment costs of the gas recovery apparatus are reduced.

Furthermore, it is desirable that the gas recovered by the gas recovery apparatus be recirculated to the optical path of the exposure energy beam via at least a portion (31, 43) of the gas supply apparatus.

Furthermore, the gas supply apparatus has, as one example, a concentration meter (44) for measuring the density of the gas supplied from the gas recovery system, a gas source (46) with the gas sealed therein in a gaseous state or in a liquid state, and control units (43, 45, 48) which supplement the gas supplied from the gas recovery apparatus with

gas from the gas source (46) in accordance with the results of the measurement of the concentration meter. These control units supply gas from the gas source when the density of the gas measured by the concentration meter becomes lower than a predetermined allowable level. By means of this, the gas within the gas source is not used wastefully.

Furthermore, this gas supply apparatus is provided with, as an alternative example, a gas source (46) which conducts the liquid storage or high pressure storage of gas, a conversion apparatus which returns the liquid gas or high pressure gas within the gas source to a gaseous state, and an adjusting apparatus (43) which regulates the temperature and pressure of the gas from the gas source prior to its supply to the exposure apparatus. By means of this it is possible to store a large amount of the gas in a small space.

Furthermore, it is desirable that the gas recovery apparatus store the recovered gas in a liquefied or high pressure form. By means of this, it is possible to store a large amount of the gas in a small space.

Furthermore, the device manufacturing apparatus in accordance with the present invention is provided with a plurality of exposure apparatuses, including exposure apparatuses in accordance with the present invention, and using this plurality of exposure apparatuses, transfers a plurality of device patterns onto a substrate which is the object of exposure in an overlapping manner, producing microdevices. In this case, as well, the amount of gas employed can be controlled.

The exposure apparatus in accordance with the present invention is an exposure apparatus which illuminates a mask (R) with a predetermined energy beam, and transfers the pattern formed in this mask to a substrate (W), wherein a gas-controlled drive apparatus

(123, 125A) which conducts predetermined operations (positioning, vibration isolation, and the like) using a first gas for control is provided, and a second gas having good transmittivity is supplied to at least a portion of the optical path of the exposure energy beam, and a gas of the same type as the second gas is employed as the first gas of the gas-controlled drive apparatus.

In accordance with this invention, the gas which is exhausted when the gas-controlled drive apparatus is driven is a gas of the same type as the second gas having good transmittivity with respect to the exposure energy beam, so that the concentration of the second gas supplied to the optical path of the exposure energy beam progressively decreases. Accordingly, the progressive decrease in the transmittivity with respect to the exposure energy beam is eliminated, and it is possible to guide the exposure energy beam to the substrate with a high efficiency of use.

In this case, an example of this gas-controlled drive apparatus is a stage apparatus (123) which makes contact with the guide surface in the form of a gas bearing system, a gas type cylinder apparatus, or a vibration isolation platform (125A) employing gas as a portion of the shock absorbing material. The exposure apparatus is normally contained within a box shaped chamber so that when a gas of a type other than the second gas is emitted from the gas-controlled drive apparatus the transmittivity of the exposure energy beam within the chamber progressively decreases; however, in accordance with the present invention a decrease in the transmittivity of the exposure energy beam within the chamber is prevented.

Furthermore, when the exposure energy beam is ultraviolet light having a wavelength of 250 nm or less, then it is desirable that the second gas be nitrogen (N_2) or

helium (He). In particular, since the transmittivity of nitrogen is good when the wavelength is from 250 to 200 nm, it is possible to employ low cost nitrogen. Furthermore, these gases are inert, so that fogging materials or the like will not be generated on the surface of the optical elements.

Furthermore, when the exposure energy beam is ultraviolet light having a wavelength of 200 nm or less, it is desirable that the second gas be helium. Helium has high transmittivity with respect to light of such short wavelengths, and additionally has particularly good thermal conductivity, so that its ability to cool the optical elements and the like is high. Furthermore, when, as an example of the wavelength of 200 nm or less, ArF excimer laser light having a wavelength of 193 nm is employed as the exposure energy beam, and a projection optical system comprising a cata-dioptric system is employed, the cata-dioptric system has fewer lenses than a refractive system, and the distance between lenses is greater, so that it is more susceptible to effects of fluctuations in atmospheric pressure. By purging the interior of the projection optical system comprising a cata-dioptric system with helium, which has a considerably smaller degree of change in the index of refraction in response to changes in air pressure, in comparison with nitrogen, it is possible to control the amount of fluctuation in the image forming characteristics at a low level.

Furthermore, when the exposure energy beam is an X-ray (for example, a wavelength within a range of approximately 10 nm - 1 nm) then examples of the second gas are nitrogen or helium. Even when X-rays are employed, if the distances are short, the amount of attenuation can be kept at a low level.

The exposure apparatus (projection exposure apparatus) of the present invention is provided with an illumination optical system which applies illumination light from an illumination light source to a mask and which has a plurality of optical elements (9A, 9B, 11...(109A, 109B, 111...)) which are supported by support members, and with a projection optical system (PL) which projects the image of a pattern on a mask (original plate) onto an exposed substrate, which system is provided with a plurality of optical elements (L201, L202...) which are supported by support members. Additionally, all the optical elements described above are supported on the support members using press-attachment mechanisms without employing adhesive, and thereby, the objects described above are obtained.

Furthermore, an example of this press-attachment mechanism is a flat spring (261), one end of which is affixed to the inner circumferential part of the support member (251), and the other end of which presses against the outer circumferential part of the optical element (L201, L202) at the other end.

Furthermore, another example of this press-attachment mechanism is one in which screwable attachment is conducted to a screw part attached to the inner circumferential part of the support member (252), and a screw ring (263) is screwably advanced and presses the outer circumferential part of the optical elements (L203 - L205).

Furthermore, an exposure apparatus (projection exposure apparatus) in accordance with the present invention is provided with an illumination optical system (232) which has a plurality of optical elements (204, 205, 206...) containing fly eye lenses (11, 111) which bundle a plurality of rod lenses (L260) and which applies illumination light from an illumination light source (201) to a mask, as well as with a projection optical system which

is provided with a plurality of optical elements (L201, L202,...) which are supported by support members and which projects the image of a pattern on a mask (original plate) onto an exposure substrate. Then, by bundling a plurality of rod lenses (L260) using a support apparatus (280) without the use of an adhesive, the objects described above are achieved.

Furthermore, in a manufacturing method for exposure apparatuses in accordance with the present invention, a supply pipe for supplying a gas which reduces attenuation in the exposure energy beam is connected to a gas chamber which seals, in an essentially airtight manner, at least a portion of the optical path of the exposure energy beam, and a recovery pipe which recovers at least a portion of the gas supplied to the gas chamber is connected to at least one of the gas chamber and a housing in which the gas chamber is disposed. Then, the recovery pipe is connected to a removal apparatus which removes impurities from the recovered gas, and the removal apparatus and the supply pipe are connected. Furthermore, the optical elements which the exposure energy beam passes are assembled in the exposure apparatus by being fixed to support members without the use of adhesive. Furthermore, a gas control type drive apparatus which employs a gas having optical characteristics which are essentially the same as those of the gas which is disposed in the exposure apparatus, and a supply source for this gas, are connected.

In accordance with this invention, a portion of the gas supplied to the optical path may be recovered and reused (recycled) so that it is possible to control the amount of this gas which is employed, and it is thus possible to construct an exposure apparatus which makes possible a reduction of operational costs.

In this section disclosing the invention which explains the structure of the present invention, diagrams of the embodiments of the invention are employed in order to facilitate understanding of the present invention; however, the present invention is not limited to these embodiments of the invention.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DIAGRAMS

Figure 1 is a schematic structural view of a projection exposure apparatus in accordance with a first mode of the present invention, wherein a portion has been removed, which shows a portion of the helium circulation apparatus and a portion of the nitrogen circulation apparatus.

Figure 2 is a schematic structural view in which a portion has been removed, showing the main parts of the helium circulation apparatus and the nitrogen circulation apparatus in this embodiment.

Figure 3 is a schematic structural diagram in which a portion has been rendered in cross sectional view, showing a plurality of projection exposure apparatuses and a single helium recovery apparatus in a second embodiment of the present invention.

Figure 4 is a schematic structural view in which a portion has been rendered in cross sectional view, showing a modification of the projection exposure apparatus of the first embodiment of the present invention.

Figure 5 is a schematic structural view in which a portion has been rendered in cross section, showing the projection exposure apparatuses and helium supply apparatus of an example of the third embodiment of the present invention.

Figure 6 is a cross sectional view of the main parts of the wafer stage in Figure 5 as viewed from the X direction.

Figure 7 shows the concept in the case in which the lenses of the projection optical system are supported by flat springs.

Figure 8 is a detailed view of the press-attachment mechanism employing flat springs.

Figure 9 is a perspective view showing the details of the fly eye lens.

Figure 10A is a top view of the fly eye lens, while Figure 10B is a front view thereof, and Figure 10C is a side view thereof.

EMBODIMENTS

Hereinbelow, a first embodiment of the present invention will explained with reference to Figures 1 and 2. The embodiment is an application of the present invention to a projection exposure apparatus for semiconductor device manufacture wherein helium gas is supplied to the majority of the optical path of the exposure light.

Figure 1 shows the outline of the structure of the projection exposure apparatus of this embodiment and a portion of the helium circulation apparatus, while Figure 2 shows the outline of the structure of the main parts of this helium circulation apparatus; in Figures 1 and 2, a projection exposure apparatus is disposed within a clean room on a floor F1 of a certain floor of a semiconductor manufacturing plant, and a helium circulation apparatus, which supplies helium gas to the projection exposure apparatus on the upper floor and furthermore conducts recovery thereof, is installed within a machine chamber (utility space)

on a floor F2 of a lower floor. In this way, the apparatus which is likely to give rise to particulate material and to be a source of vibration is installed on a different floor from that on which the projection exposure apparatus is installed, and thereby, it is possible to maintain the degree of cleanliness within the clean room in which the projection exposure apparatus is installed at an extremely high level and it is possible to reduce the effects of vibration with respect to the projection exposure apparatus to an extremely low level.

Helium gas is light and rises easily, so that the helium circulation apparatus of the present embodiment may be positioned at a higher floor than the floor in which the projection exposure apparatus is installed. Furthermore, the supply apparatus described hereinbelow within the helium circulation apparatus is disposed on floor F2, while the recovery apparatus is disposed on floor F1 or a higher floor, and in this way parts of the helium circulation apparatus may be disposed on differing floors.

First, on the floor F1 in the clean room in Figure 1, a box shaped case 1 is installed via vibration isolation platforms 2A and 2B and a F₂ laser light source 3 (oscillation wavelength 157 nm), as an exposure light source, a beam matching unit (BMU) 4 containing a movable mirror for positionally matching the optical path between the exposure main parts, and a pipe 5, which is formed from an optically insulating material and through the interior of which the exposure light passes, are installed within case 1. Furthermore, next to case 1, an environment chamber 7 which is box-shaped and has good airtightness is installed, and a fixed platform 24 is installed within this environment chamber 7 via vibration isolation platforms 25A and 25B which serve to reduce vibration from the floor on floor F1, and exposure main unit 26 is installed on fixed platform 24. Furthermore, a

subchamber 6 which has good airtightness and extends from pipe 5 which extends from within case 1 to the interior of environment chamber 7 is installed in a framing manner, and the majority of the illumination optical system is stored within subchamber 6.

The F_2 laser light source 3 may be disposed on the lower floor F2. In this case, the surface area taken up by the projection exposure apparatus (the foot print) within the clean room on floor F1 can be reduced, and it is possible to reduce the effects of vibration to exposure main unit 26.

Furthermore, when a ArF excimer laser light (wavelength 192 nm) or KrF excimer laser light (wavelength 248 nm) or X-rays or the like are employed as the exposure energy beam (exposure light), as well, when helium or the like is supplied to at least a portion of the optical path of the exposure energy beam, the present invention may be applied.

Furthermore, the exposure main unit 26 of the present embodiment is a scanning exposure type, for example, a step and scan type, as explained hereinbelow; however, it is of course the case that the present invention may be applied even if a stepping exposure type, for example, a step and repeat type, is employed.

First, when exposure is conducted, an ultraviolet pulse light IL having a wavelength of 157 nm which serves as the exposure light emitted from the F_2 laser light source 3 within case 1 travels through the interior of BMU 4 and pipe 5 and reaches the subchamber 6. In subchamber 6, the ultraviolet pulse light IL passes through a beam forming optical system comprising light reducer 8 as a light attenuator and lens systems 9A and 9B, and is applied to fly eye lens 11. An illumination system aperture stop system 12 for variously altering the illumination conditions is disposed at the plane of exit of fly eye lens 11.

The ultraviolet pulse light IL which is emitted from the fly eye lens 11 and passes through a predetermined aperture diaphragm in the aperture stop system 12 passes a reflection mirror 13 and a condenser lens system 14 and is inputted into a fixed illumination field diaphragm (fixed blind) 15A having a slit shaped opening within a reticle blind mechanism 16. Furthermore, a movable blind 15B which serves to change the width in the scanning direction in the illumination field region is disposed within reticle blind mechanism 16 separately from fixed blind 15A, and by means of this moveable blind 15B, a reduction in the movement stroke in the scanning direction of the reticle stage, and a reduction in the width of the light blocked band of the reticle R, are achieved.

The ultraviolet pulse light IL which is formed in a slit shape by the fixed blind 15A of the reticle blind mechanism 16 passes image forming lens system 17, reflection mirror 18 and main condenser lens system 19, and illuminates at an equal intensity a slit shaped illumination region on the circuit pattern of reticle R. In the present embodiment, the space from the output surface of pipe 5 comprising light insulating material to the main condenser systems 19 is contained within subchamber 6, and furthermore, the space from the inner part of pipe 5 to the output surface of the F₂ laser light source 3 is airtight, and communicates with the space within subchamber 6. Furthermore, helium gas (He) which has a specified purity or greater and is temperature controlled is supplied from two points from the helium circulation apparatus into the space within subchamber 6 via branch pipes 31a and 31b of pipe 31. Helium has a low molecular weight and is susceptible to leaking, so that a portion of the helium which naturally leaks out of subchamber 6 rises and collects in the space 7a in the vicinity of the ceiling of the environment chamber 7.

As shown in Figure 2, an opening and closing valve V11 is provided in pipe 31, and by controlling the opening and closing of the opening and closing valve V11 by control system 45, it is possible to switch among the supply and cut off of the helium gas to the projection exposure apparatus. Returning to Figure 1, an opening and closing valve V13 is provided in branch pipe 31a of pipe 31, and an opening and closing valve V14 is provided in branch pipe 31b in the space between it and the projection optical system PL, while an opening and closing valve V15 is provided in branch pipe 31b in the space between it and the illumination optical system (subchamber 6). Furthermore, the temperature controlled helium gas having a prespecified purity or greater is supplied into case 1, which contains the F₂ laser light source 3 and BMU 4, via another branch pipe 31c of pipe 31 (see Figure 2) and opening and closing valve V12. Then, by independently opening and closing the opening and closing valves V12 - V15 by means of the control system 45 in Figure 2, it is possible to supply helium gas into at least one desired destination: case 1, subchamber 6 (illumination optical system) and projection optical system PL.

On the basis of ultraviolet pulse light IL, the circuit pattern within the illumination region of reticle R is illuminated onto the slit shaped exposure region of the resist layer on a wafer W via projection optical system PL. This exposure region is positioned on one shot region within a plurality of shot regions on the wafer. The projection optical system PL in the present embodiment is a dioptric system (refraction system); however, since the glass which is able to transmit ultraviolet light having this type of short wavelength is limited, the projection optical system PL may be made a cata-dioptric system or a reflection system so as to increase the transmittivity of the ultraviolet pulse light IL in the projection optical system

PL. In the following, a Z axis is obtained which is parallel to the optical axis AX of the projection optical system PL, and in a plane perpendicular to the Z axis, a X axis will be established which is parallel to the paper surface of Figure 1, and a Y axis will be established which is perpendicular to the paper surface of Figure 1.

At this time, reticle R is supported by vacuum on the reticle stage 20, and reticle stage 20 is made moveable at a constant velocity in the X direction (the scanning direction) on reticle base 21, and is installed so as to be capable of slight movements in the X direction, the Y direction, and the rotational direction. The two dimensional position of reticle stage 20 (reticle R) and the rotational angle thereof are controlled by a drive control unit, which is not depicted in the figure, which is provided with a laser interferometer.

On the other hand, wafer W is supported by vacuum on the wafer holder 22, and the wafer holder 22 is affixed to the wafer stage 23, while the wafer stage 23 is positioned on the fixed platform 24. The wafer stage 23 controls the focus position of wafer W (the position in the Z axis) in an auto focus manner, and controls the angle of inclination, so as to bring the surface of wafer W into agreement with the image plane of the projection optical system PL, and conducts the constant velocity scanning of wafer W in the X direction, and stepping in the X and Y directions. The two dimensional position of wafer stage 23 (wafer W) and the rotational angle thereof are controlled by means of a drive control unit which is not depicted in the figure and which is provided with a laser interferometer. During scanning exposure, reticle R is scanned at a velocity of V_r in the + X direction (or in the - X direction) with respect to the illumination area of the ultraviolet pulse light IL, via reticle stage 20, and synchronously therewith, this wafer W is scanned in the - X direction (or in

the + X direction) at a speed of $\beta \cdot V_r$ (where β is the projection magnification from reticle R onto wafer W), with respect to the exposure region and via the wafer stage 23.

Furthermore, in the same manner as the interior of subchamber 6, temperature controlled helium gas having a predetermined concentration or greater is supplied to the entirety of the space within the barrel of the projection optical system PL of the present embodiment (the space between the plurality of lens elements), from the helium circulation apparatus in the lower floor and via branch pipe 31b of pipe 31 and opening and closing valve V14. The helium leaking from the barrel of the projection optical system PL rises and collects in the space 7a in the vicinity of the ceiling of the environment chamber 7.

Furthermore, in the present embodiment, temperature and pressure controlled nitrogen gas (N_2), the amount of oxygen contained in which is maintained at an extremely low level, is supplied from a nitrogen circulation apparatus (33-40, 82-87, 89, and the like) in a lower floor to the interior of environment chamber 7 via pipe 88. Then, the nitrogen gas circulating in the interior of the environment chamber 7 is recovered in pipe 33 via exhaust holes (not depicted in the figure) in the bottom surface of the environment chamber 7 and via pipe 95 which is connected to the side surface of the environment chamber 7, and the recovered nitrogen gas is returned to the nitrogen circulation apparatus as described hereinbelow. An opening and closing valve V19 is provided in the pipe 95.

In this way, in the present embodiment, helium gas which has a transmittivity with respect to light of 190 nm or less, as well, is supplied to the optical path of the ultraviolet pulse light IL from the output surface of the F_2 laser light source 3 to the main condenser lens system 19, as well as to the optical path of the ultraviolet pulse light IL within the

projection optical system PL. Furthermore, the spaces from the main condenser lens system 19 to the plane of incidence of the projection optical system PL, and from the output surface of the projection optical system PL to the surface of the wafer W are supplied with nitrogen gas, which does not have very good transmittivity with respect to light of 190 nm or less; however, the optical path which passes through this nitrogen gas is extremely short, so that there is little absorption as a result of the nitrogen gas. Nitrogen gas has a higher transmittivity with respect to light having a wavelength within a range of approximately 200 nm - 150 nm in comparison with standard air (which is chiefly oxygen), and nitrogen gas is present in large amounts in the atmosphere, so that it is cheap in comparison with helium gas, so that superior cost performance can be obtained when nitrogen gas is used in the short optical path portion. Accordingly, the ultraviolet pulse light IL which is emitted from the F₂ laser light source 3 reaches the surface of wafer W at an overall high transmittivity (efficiency of use), so that it is possible to reduce the exposure period (scanning exposure period) and it is possible to increase the throughput of the exposure process.

Furthermore, helium has a thermal conductivity which is approximately six times that of nitrogen, so that the heat energy which is built up as a result of the application of the ultraviolet pulse light IL at the optical elements within the F₂ laser light source 3, the optical elements within the illumination optical system and the optical elements within the projection optical system PL is efficiently transmitted to, respectively, the case 1, the cover of the subchamber 6, and the barrel of the projection optical system PL via the helium gas. Furthermore, the heat energy of this case 1, the cover of the subchamber 6, and the barrel of the projection optical system PL is efficiently exhausted to the exterior, such as lower floors,

or like, by temperature controlled air within the clean room or by temperature controlled nitrogen gas within the environment chamber 7. Accordingly, the rise in temperature of the optical elements of the illumination optical system and the projection optical system PL can be maintained at a very low level, and it is possible to control degradation and image formation characteristics at a minimum level. Furthermore, the amount of change in the index of refraction of helium in response to changes in air pressure is very small, so that the amount of change in the index of refraction within, for example, the projection optical system PL is extremely small and for this reason, as well, it is possible to maintain stable image formation characteristics.

Next, the helium circulation apparatus of the present embodiment will be explained in detail. In the interior of the environment chamber 7, the helium which leaks out of the subchamber 6 and the helium which leaks out of the projection optical system PL rises, since it is lighter than nitrogen, and collects in the space 7a in the vicinity of the ceiling. Here, the gas within the space 7a is a mixed gas in which are mixed, in addition to helium, nitrogen and air which enters the environment chamber 7 from the outside.

In the present embodiment a pipe 33 is connected to the space 7a from the exterior of the environment chamber 7, and this pipe 33 is connected to the helium circulation apparatus on the lower floor through a hole which is provided in floor F1. Furthermore, case 1 is connected to pipe 33 via pipe 92, and an opening and closing valve V16 is provided in pipe 92. Furthermore, the subchamber 6 which contains the illumination optical system, and the space within the projection optical system PL to which helium is supplied, are connected to pipe 33 via, respectively, pipes 93 and 94, and opening and closing valves

V17 and V18, respectively, are provided in pipes 93 and 94. Accordingly, by independently opening and closing the opening and closing valves V16, V17, and V18 using the control system 45 shown in Figure 2, it is possible to recover helium gas containing organic matter or particles or the like from at least a desired one of the following: the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL.

Furthermore, a suction type pump (or fan) 34 is disposed in the pipe 33 in the bottom surface side of floor F1, and the mixed gas sucked from the interior of the space 7a and the case 1 by pipe 33 and pump 34 is sent to the helium circulation apparatus of the lower level. Then, the mixed gas which is passed through pump 34 reaches the dust collecting and moisture removing apparatus 35, and here, in order to avoid later clogging of the adiabatic compression cooling passage, the fine particulate matter and moisture is removed. That is to say, in dust collecting and moisture removing apparatus 35, for example, a HEPA filter (high efficiency particulate air filter) or an ULPA filter (ultra low penetration air filter) is provided.

Furthermore, the mixed gas from which particulate matter or moisture has been removed by the dust collecting and moisture removing apparatus 35 passes through pipe 36 and reaches impurity removal apparatus 80, and here, impurities (contaminates) other than particulate matter or moisture contained in the mixed gas are removed. The impurities removed here are substances which precipitate onto the surfaces of the optical elements of the F₂ laser light source 3, the illumination optical system or the projection optical system PL and cause fogging, or substances which float within the optical path of the exposure light and which cause fluctuations in the transmittivity (illumination intensity) or illumination

intensity distribution or the like of the illumination optical system or the projection optical system PL, or are substances which precipitate onto the surface of the wafer W (resist) and cause deformations in the pattern image after developing processing.

An activated carbon filter (for example, the Gigazobe (trade name) produced by Nitta Company), or a zeolite filter or a filter combining these, may be employed as the impurity removal apparatus 80 of the present embodiment. By means of this, silicon system impurities such as siloxane (substances having a Si-O chain as an axis) or silazane (substances having a Si-N chain as an axis), which are present within the environment chamber 7, the illumination optical system, or the projection optical system PL, may be removed.

Here, the substance known as "ring form siloxane", having a Si-O chain as an axis, which is one of the siloxanes, is contained in silicon system adhesives, sealing agents, paints, and the like, which are employed in projection exposure apparatuses, and with the passage of years, this is released as out gas. Ring form siloxane is easily deposited on the surfaces of light sensitive substrates or optical elements (lenses or the like), and oxidizes when it comes into contact with ultraviolet light, so that it becomes an SiO₂-system fogging substance on the surfaces of optical elements.

Furthermore, hexamethyldisilazane (hereinbelow referred to as "HMDS"), which is employed as a preprocessing agent in resist coating processes, is a silazane. HMDS is changed (hydrolyzed) into the substance silanol when it reacts with water. Silanol is easily deposited on the surfaces of light sensitive substrates or optical elements or the like, and oxidizes when it comes into contact with ultraviolet light, forming an SiO₂-system fogging

substance on the surfaces of the optical elements. Silazane generates ammonia as a result of the hydrolysis described above; when such ammonia is present together with siloxane, the surfaces of optical elements are even more likely to be fogged.

The organic materials (for example, hydrocarbons) which are deposited on the surfaces of the optical elements of the illumination optical system or the projection optical system PL or the like are broken down by light cleaning, and become admixed into the helium gas; however, these hydrocarbons are also removed by the impurity removal apparatus 80 in the present embodiment. Furthermore, it is not the case that only the silicon system organic materials described above are generated; plasticizers (phthalates and the like) and flame retardants (phosphoric acid, and carbon system materials) may be generated as outgasses of the wiring or plastic within the environment chamber 7, but these plasticizers and flame retardants are also removed by the impurity removal apparatus 80 in the present embodiment. Even if ammonium ions or sulfuric acid ions or the like which float within the clean room enter into the environment chamber 7, these ions are also removed by the impurity removal apparatus 80. Furthermore, in the present embodiment, the impurity removal apparatus 80 is provided at the downstream side of the dust collection and moisture removal apparatus 35; however, this may also be provided at the upstream side of the dust collection and moisture removal apparatus 35, or alternatively, the HEPA filter or ULPA filter within the dust collection and moisture removal apparatus may be made unitary with the activated carbon filter within the impurity removal apparatus.

The mixed gas passing through the impurity removal apparatus 80 reaches the refrigerating apparatus 37 via pipe 36 and here, this is cooled to the temperature of liquid

nitrogen by adiabatic compression cooling. By means of this, the nitrogen and air components are liquefied, and it is a simple matter to separate the gaseous helium from the liquefied air components containing nitrogen. The air components comprising chiefly nitrogen (N_2) liquefied within the refrigerating apparatus 37 are recovered in cylinder 40 of Figure 2 via pipe 38 and the suction type pump 39 disposed therein. The air components such as nitrogen and the like which are vaporized in the cylinder 40 may be reused (recycled). The helium which is present in the form of a gas within the refrigerating apparatus 37 of Figure 1 is sent to the first inflow port of the mixing and temperature adjustment apparatus 43 in Figure 2 via pipe 41 and a suction pump (or fan) 42 which is disposed therein.

In Figure 2, highly pure helium gas is supplied from cylinder 46, which is filled with highly pure helium gas at high pressure, to the second inflow port of mixing and temperature adjustment apparatus 43 via pipe 47 and opening and closing valve 48. Liquefied helium may be stored within cylinder 46. Furthermore, a helium concentration meter 44 for measuring the concentration (or purity) of the helium within the pipe 41 through which the helium recovered by the refrigerating apparatus 37 in Figure 1 passes is provided in the vicinity of the inflow port with respect to the mixing and temperature adjustment apparatus 43, and the measurement data thereof are supplied to the control system 45 which comprises a computer. When the concentration of the recovered helium measured by the helium concentration meter 44 reaches a predetermined allowable level, the control system 45 opens the opening and closing valve 48, and adds highly pure helium from the cylinder 46 into the mixing and temperature adjustment apparatus 43. Additionally, when the helium

concentration as measured by the helium concentration meter 44 exceeds the allowable value, the control system 45 shuts the opening and closing valve 48. Furthermore, the opening and closing valve 48 is shut even when the exposure operation is not being conducted. It is possible to employ a sensor which detects the oxygen concentration in place of the helium concentration meter, and to close the opening and closing valve 48 when the oxygen concentration is at or below an allowable level.

Furthermore, mixing and temperature regulator apparatus 43 first mixes the recovered helium with helium from cylinder 46 within a predetermined pressure range and controls the temperature and humidity at a predetermined level and supplies the helium having controlled temperature, pressure, and humidity to pipe 31. The helium circulation apparatus of the present embodiment comprises from dust collection and moisture removal apparatus 35 to mixing and temperature adjusting apparatus 43. Furthermore, pipe 31 passes through an opening provided in the floor F1 of the upper level and reaches into the interior of the clean room, and a blowing pump (or fan) 32 is installed in the middle of pipe 31 at the bottom surface side of floor F1 and an opening and closing valve V11 is provided at the upper surface side of floor F1. Then, the helium gas which is placed within a predetermined pressure range, is at a predetermined concentration or greater, and the temperature, pressure, and humidity whereof are controlled at predetermined levels by mixing and temperature adjusting apparatus 43, is supplied to pipe 31, and then, while being blown by pump 32, is supplied to the interior of the subchamber 6 of the projection exposure apparatus on floor F1 of Figure 1, to the interior of the projection optical system PL, and the interior of case 1, via branch pipes 31a, 31b, and 31c of pipe 31.

Furthermore, in Figure 2, an impurity concentration meter 90 which detects the concentration of impurities (including the silicon system organic materials described above and the like) which enter into the helium gas is installed in pipe 31 at the upstream of the opening and closing valve V11 (the side of pump 32), and based on the values measured, control system 45 conducts the opening and closing of opening and closing valve V11, or in other words, the supply and cut off of helium. When the impurity concentration as measured by the impurity concentration meter 90 is in excess of a predetermined allowable level, then opening and closing valve V11 closes and the supply of helium to the projection exposure apparatus is cut off and, for example, the exchange of the filter of the impurity removal apparatus 80 of Figure 1 is conducted. Alternatively, the recovered helium may be sent to the helium circulation apparatus together with the impurities. After this, opening and closing valve V11 is opened and the supply of helium is reinitiated, and the opening and closing valves V12 - V18 of Figure 1 are opened and helium is circulated. Then, at a point in time at which, as an example, the impurity concentration is found to be at a level below the allowable level, the opening and closing valves V16 - V18 are closed. Furthermore, when the concentration of helium within the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL reaches, respectively, predetermined values, opening and closing valves V12 - V15 are successively closed.

Next, using the light detector (not depicted in the figure) provided in the wafer stage 23 of Figure 1, the transmittivity with respect to the exposure light (ultraviolet pulse light IL) of projection optical system PL (or the illumination intensity on wafer W), and the illumination intensity distribution on reticle R or wafer W are detected, and based on the

results of this detection, the exposure of wafer W is initiated. In place of the exchange of the filters or sending of the recovered helium described above, it is also possible to exchange the cylinder which serves to store to recovered helium (corresponding to the cylinder 50 in Figure 3 described hereinbelow) with another cylinder, and to increase the purity thereof at a separate regeneration facility, and to supply the helium of high purity within cylinder 46 to environment chamber 7. Furthermore, impurity concentration meter 90 may be installed at a position other than within the pipe 31, so that it may be installed within pipe 41 or pipe 36 at a point downstream from the impurity removal apparatus 80.

Furthermore, when the work of the projection exposure apparatus of the present embodiment is started up, or when the work is restarted after a long period of stoppage, or when the light cleaning of the projection optical system PL is initiated, or after this is completed, the opening and closing valve V11 in pipe 31 is closed by the control system 45 in Figure 2, and in the state in which the opening and closing valves V16 - V18 of pipes 92 - 94 in Figure 1 are opened, the gas within the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL (helium or the like) is suctioned out by pump 34. At this time, so that the mixed gas within the upper space 7a of environment chamber 7 does not flow into the pipe 33, an opening and closing valve (not depicted in the figure) provided in the vicinity of the inflow port of pipe 33 should be closed. After this, the opening and closing valves V16 - V18 are closed, and the opening and closing valve V11 is opened, and helium is thus supplied to case 1, subchamber 6, and projection optical system PL, and when the interior parts thereof reach a predetermined helium concentration value, the corresponding opening and closing valves V12 - V15 are closed in order, and once all the opening and closing

valves V12 - V15 have been closed, valve V11 is closed. By means of this, it is possible to initiate the exposure operation of wafer W, or to initiate the preparatory operations thereof.

Although not depicted in the figure, helium concentration meters and oxygen concentration meters are provided within the case 1, the subchamber 6, and projection optical system PL, and control system 45 controls the opening and closing of opening and closing valves V12 - V15 based on the output from these concentration meters. At this time, until the helium concentration in the case 1, subchamber 6, and the projection optical system PL, respectively, reach permitted values, or until the oxygen concentration is at a permitted value or below, the oscillation of the F₂ laser light source 3, that is to say, the exposure of the wafer W, is prohibited. Within the environment chamber 7, in particular, between the illumination optical system (condenser lens 19) and the projection optical system PL, and between the projection optical system PL and the wafer W, respectively, a nitrogen concentration meter and an oxygen concentration meter are disposed, and furthermore, the output of these concentration meters may be employed in common in the manner described above and the oscillation of the F₂ laser light source 3 may be controlled. Furthermore, when the helium concentration within at least one of the case 1, subchamber 6, and the projection optical system PL, for example, the helium concentration within the projection optical system PL, goes below a predetermined value during the operation of the projection optical apparatus, the opening and closing valves V11 and V14 are opened and helium is supplied. At this time, within the projection optical system PL, in particular so as not to change the pressure between the optical elements, the flow rate and pressure or the like of the helium gas supplied by the mixing and temperature adjustment apparatus 43 or the pump

32 or the like is adjusted. This is so as to prevent changes in the image forming characteristics of the projection optical system PL as a result of changes in pressure, and to prevent changes in the illumination intensity at the reticle R or the wafer W, or changes in the distribution thereof. Although not depicted in the figure, pressure sensors are disposed within the illumination optical system (subchamber 6) and the projection optical system PL, and control system 45 controls the flow rate and pressure of the helium gas based on the values measured by these pressure sensors. Temperature sensors and humidity sensors may further be disposed within the illumination optical system and projection optical system PL, and using the values measured by the sensors, the temperature or humidity of the helium gas may be precisely controlled.

In this way, in the present embodiment, the majority of the helium gas supplied so as to flow into the majority of the optical path of the exposure light (ultraviolet pulse light IL) of the projection exposure apparatus is directly recovered via the upper space 7a of the environment chamber 7 or from the case 1, subchamber 6, and the projection optical system PL, passing through pipe 33 to the helium circulation apparatus of the lower level, so that the amount of high cost helium employed can be reduced. It is possible to increase the transmittivity with respect to the exposure light, and to increase the cooling efficiency of the optical elements, and it is also possible to reduce the operating costs of the projection exposure apparatus.

In the embodiment described above, a cylinder (corresponding, for example, to the cylinder 50 of Figure 3 described hereinbelow) for storing recovered helium may be provided between the refrigerating apparatus 37 and the mixing and temperature adjustment

apparatus 43 in Figure 1. In this case, in order to be able to store large amounts, the helium should be compressed using a compressor to 100 to 200 atmospheres, and stored in the cylinder. By means of this, the volume is reduced to a range of approximately 1/100th to 1/200th. Furthermore, the helium may be liquefied by means of a liquefier employing a turbine or the like and stored. By means of liquefaction, the volume of the helium may be reduced to approximately 1/700th. When helium highly compressed or liquefied in this manner is reused, for example, when it is returned to state of approximately one atmosphere, the temperature decreases as a result of expansion, so that it is necessary to employ heating temperature management using a heater or the like. Furthermore, a buffer space for maintaining a constant pressure is desirably provided. Furthermore, an opening and closing valve may be provided on the upstream side of the mixing and temperature adjustment apparatus 43 (the side of pump 42), and the amount of helium obtained from the cylinder which stores the recovered helium may be regulated, or the opening and closing of the flow path (pipe 41) may be controlled. By employing this opening and closing valve together with the opening and closing valve 48 of the pipe 47, it is possible to more easily conduct the regulation of the concentration of helium sent to pipe 31.

In the embodiment described above, the helium gas is supplied in such a manner as to flow through the majority of the optical path of the exposure light; however, in order to cover the entirety of the optical path, and to increase the cooling efficiency of the reticle stage 20 and the wafer stage 23, helium gas may be supplied to the entirety of the interior of the environment chamber 7. In this case, as well, the majority of the helium may be recovered, so that the increase in operating costs is slight.

Furthermore, in the embodiment described above, the helium recovered by the mixing and temperature adjusting apparatus 43 is mixed with highly pure helium; however, when the concentration (purity) of the recovered helium is low, there is a danger that simply by mixing it will be impossible to rapidly increase the concentration of the helium supplied to the projection exposure apparatus to allowable ranges. In such cases, the recovered helium may be stored in a separate cylinder, and the purity thereof may be increased at a separate regeneration facility, and the highly pure helium within cylinder 46 may be supplied to the projection exposure apparatus.

In the projection exposure apparatus of Figure 1, using the opening and closing valves V11 - V18, helium was filled (sealed) within the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL; however, in the present embodiment, a helium circulation apparatus is provided, so that in the state in which the opening and closing valves V16 - V18 are closed, the helium leaking out of the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL may be replenished, and a constant supply may be carried out while regulating the flow rate of the helium. Alternatively, the helium may be constantly supplied at a predetermined flow rate while keeping the opening and closing valves V11 - V18 open. Using the latter method, the opening and closing valves V11 - V18 need not be provided. At this time, based on the values measured by pressure sensors (not depicted in the figure) provided within, respectively, the illumination optical system and the projection optical system PL, the flow rate and pressure and the like of the helium supplied may be controlled so as to maintain the interior pressure at a constant value.

Here, when the helium is constantly supplied as described above, the opening and closing valve V11 closes at the point in time at which the predetermined permitted value of the impurity concentration measured by the impurity concentration meter is reached; however, at this time, the main control system (not depicted in the Figure) which controls the operations of the entire projection exposure apparatus confirms the operation in the main part of the exposure apparatus, and when, for example, the exposure process of the wafer is in progress, this control system sends a directive so as to delay the operation closing the opening and closing valve V11 (closing) until the completion of the exposure processing, with respect to the control system 45. Alternatively, immediately prior to reaching the permitted value of the impurity concentration, the main control system may close the opening and closing valve V11 without initiating the subsequent wafer exposure process and may initiate operations which reduce the impurity concentration below a predetermined value as described above.

Furthermore, taking into account the admixture of impurities as described above in the present embodiment, in order to exchange the helium within the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL, or in order to circulate the helium, the case 1, subchamber 6, and the projection optical system PL are connected with pipe 33 via pipes 92 - 94. However, if the recovered helium can be cleaned so as achieve good purity (purified), the admixture of impurities is at a level that can be ignored, or the state is such that the impurities are essentially not generated within the illumination optical system or projection optical system PL, then it is not necessary to provide these pipes 92 - 94 (and opening and closing valves V16 - V18). At this time, opening and closing valves V11 - V15 also need

not be provided. In this case, helium leaks out from the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL, so that helium may be supplied either constantly or when needed (or at regular intervals) so as to replenish the helium and to maintain the helium concentration at a permitted value or above.

Furthermore, in the present embodiment, the F_2 laser light source 3 and the BMU 4 were contained in case 1 of Figure 1; however, the BMU 4 and the like may be contained in a housing separately from the F_2 laser light source 3, and helium may be supplied respectively to the F_2 laser light source 3 and to this housing. At this time, the F_2 laser light source 3 and this housing may be mechanically connected, and a glass plate may be provided which allows the transmission of a F_2 laser as a dividing plate between the two.

Next, the nitrogen circulation apparatus of the present embodiment will be explained in detail. In the present embodiment, nitrogen gas (N_2) is supplied within the environment chamber 7 of Figure 1 via the pipe 88 of Figure 2, and nitrogen is recovered from the environment chamber 7 via pipes 95 and 33, so that in other words, nitrogen is circulated within the environment chamber 7.

The nitrogen which is separated from the helium and the like by the refrigerating apparatus 37 of Figure 1 is suctioned away by pump 39 and passes through pipe 38 and is recovered in cylinder 40 of Figure 2. Furthermore, the nitrogen within the cylinder 40 is suctioned by pump 83 and passes through pipe 81 and is sent to the temperature adjusting apparatus 86. An opening and closing valve V21 is provided in pipe 81, and nitrogen concentration meter, or oxygen concentration meter, 82 which measures the concentration of nitrogen sent to the temperature adjusting apparatus 86 is provided, and the values measured

by this concentration meter are supplied to the control system 45. When the nitrogen concentration as measured by the concentration meter 82 reaches a predetermined value, the control system 45 opens the opening and closing valve V22 of the pipe 85 connecting the nitrogen cylinder 84 and the temperature adjusting apparatus 86, supplying highly pure nitrogen from cylinder 84 to temperature adjusting apparatus 86. On the other hand, when the nitrogen concentration is at the predetermined value or above, the control system 45 maintains the opening and closing valve V22 in a closed state. When the nitrogen concentration measured by the concentration meter 82 is extremely low, the opening and closing valve V21 may be closed and a flow of nitrogen from only the nitrogen cylinder 84 may be sent to the temperature adjusting apparatus 86. Then, when the nitrogen concentration as measured by the concentration meter 82 reaches a permitted value (a value smaller than the predetermined value described above), the opening and closing valve V21 may be opened.

Furthermore, temperature adjusting apparatus 86 mixes the recovered and cleaned nitrogen and the nitrogen from the nitrogen cylinder 84 and controls the temperature, pressure, and humidity thereof at predetermined levels, and supplies this nitrogen gas having controlled temperature, pressure, and humidity to a pipe 88 which passes through floor F1. A blowing pump (or fan) 87 is provided in the bottom side surface of floor F1 in pipe 88, and the nitrogen is supplied to the interior of the environment chamber 7 by this pump 87 via the branch pipes 88a and 88b of pipe 88 of Figure 1. Branch pipe 88a blows nitrogen gas in the direction of the optical path of the exposure light between the projection optical system PL and the wafer W, while branch pipe 88b blows nitrogen gas in the direction of the

optical path of the exposure light between the subchamber 6 and the projection optical system PL (the space above and below the reticle R).

Furthermore, an opening and closing valve V23 is provided in pipe 88 at the side of the upper surface of floor F1, and an impurity concentration meter 89 which detects the concentration of impurities (including the silicon system organic materials or the like described above) which are mixed into the nitrogen is provided in the pipe 88 at the upstream side of the opening and closing valve V23 (the side of pump 87). When the impurity concentration as measured by this impurity concentration meter 89 is at or above predetermined allowable levels, then control system 45 closes the opening and closing valve V23 and halts the supply of nitrogen to the projection exposure apparatus, and the exchange of the filter of impurity removal apparatus 80, for example, is conducted. Alternatively, the recovered nitrogen may be sent out of the nitrogen circulation apparatus together with the impurities. After this, the opening and closing valve V23 (and the opening and closing valves V24 and V25) is opened, and the supply of nitrogen is resumed and the opening and closing valve V19 of pipe 95 in Figure 1 is opened, and nitrogen is circulated. Then, when it is confirmed that the impurity concentration is lower than an allowed value, the opening and closing valve V19 is closed. Furthermore, when the nitrogen concentration within the environment chamber 7 reaches a predetermined value, the opening and closing valves V24 and V25 are successively closed. Then using a light detector (not depicted in the figure) provided at wafer stage 23, the transmittivity of the projection optical system PL (or the illumination intensity on wafer W) is detected, and furthermore, the illumination intensity

distribution on reticle R or wafer W is detected, and based on these detection values, the exposure of the wafer W is initiated.

In the embodiment described above, when the nitrogen concentration within the environment chamber 7 reaches a predetermined value, the supply of nitrogen is halted, and the opening and closing valve V23 (or the valves V24 and V25) and the opening and closing valve V19, respectively, of the pipe 88 (or the branch pipes 88a and 88b) and the pipe 95 are closed, and when the nitrogen concentration within the environment chamber 7 drops below the predetermined value, the opening and closing valve V23 (or the opening and closing valves V24 and V25) may be opened and nitrogen supplied.

Furthermore, in place of the filter exchange or the discharge of the recovered nitrogen described above, the cylinder 40 storing the recovered nitrogen may be exchanged with another cylinder, and the purity thereof may be increased at a separate regeneration facility, and the highly pure nitrogen within the nitrogen cylinder 84 may be supplied to the environment chamber 7. Furthermore, the impurity concentration meter 89 may be disposed at a position other than within the pipe 88, so that for example, it may be disposed within pipe 81 or within pipe 36 at a position downstream from the impurity removal apparatus 80. In particular, with the latter distribution, it is no longer necessary to provide the impurity concentration meter 90 described above; that is to say, the helium supply apparatus and nitrogen supply apparatus may commonly employ a single impurity concentration meter.

Furthermore, although it is not depicted in the figure, a nitrogen concentration meter or an oxygen concentration meter may be provided within environment chamber 7, and control system 45 may control the opening and closing of opening and closing valves V23 -

V25 based on the outputs of these concentration meters so that the nitrogen concentration within the environment chamber 7 does not drop below a predetermined permitted value. Furthermore, temperature sensors, pressure sensors, and humidity sensors (not depicted in the figure) are disposed within the environment chamber 7, and based on the measured values of the sensors, the control system 45 regulates the flow rate, temperature, pressure, and humidity of the nitrogen supplied using temperature adjusting apparatus 86 and pump 87 and the like so as to maintain at an essentially fixed value the temperature, pressure, and humidity within the environment chamber 7.

In the present embodiment, in Figure 1, an exhaust port of a first branch pipe 88a of pipe 88 is disposed in the vicinity of projection optical system PL and wafer W, and nitrogen flows to the space between the projection optical system PL and the wafer W. On the other hand, the second branch pipe 88b of the pipe 88 further branches in two, and one exhaust port is disposed in the vicinity between condenser lens 19 and reticle R, while the other exhaust port is positioned between the reticle R and the projection optical system PL. The opening and closing of opening and closing valve V19 may be controlled and nitrogen caused to circulate within the environment chamber 7 so as to constantly blow nitrogen from branch pipes 88a and 88b. In this case, it is possible to supply nitrogen having a high degree of purity in a prioritized manner between the illumination optical system (condenser lens 19) and the projection optical system PL, and between the projection optical system PL and the wafer W, so that even if the nitrogen concentration within the environment chamber 7 decreases as a result of opening this chamber during the exchange of reticles R or wafer W, after the completion of the exchange operation, it is possible to rapidly initiate an exposure

operation or a preparatory operation, so that it is possible to restrict the decline in throughput to the minimum possible period. Furthermore, in comparison with the case in which nitrogen is circulated by simply connecting pipe 88 to the environment chamber 7 without providing branch pipes 88a and 88b, it is possible to reduce the amount of nitrogen employed. Furthermore, it is possible to greatly reduce the deposition of scattered particles (particulate matter), generated from the wafer W (resist surface) during illumination with exposure light, onto the projection optical system PL (surfaces of the optical elements closest to the wafer side). When nitrogen is circulated within the environment chamber 7, the contaminant substances are exhausted to the outside together with the nitrogen, so that it is possible to improve the cleanliness within the environment chamber 7.

In the present embodiment, the interior of environment chamber 7 was made a nitrogen atmosphere; however, air from which impurities have been removed may be supplied to environment chamber 7, and as described above, nitrogen may be supplied between the illumination optical system and the projection optical system PL, and between the projection optical system PL and the wafer W, and thus only these two spaces may be given nitrogen atmospheres. At this time, helium may be supplied in place of nitrogen, and in such a case, it is no longer necessary to provide a nitrogen circulation apparatus, so that, for example, the helium may be supplied to the spaces described above by connecting pipe 31 with branch pipes 88a and 88b. Furthermore, chemically clean dry air (having a humidity of 5% or less) from which the organic materials described above have been removed may be employed as the air which is supplied to the environment chamber 7. Such a structure is particularly effective for projection exposure apparatuses which employ a ArF

excimer laser as the exposure light source, and in this case, nitrogen may be supplied to the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL, or alternatively, nitrogen may be supplied to the case 1, and to subchamber 6, while helium is supplied to the projection optical system PL.

Furthermore, in the present embodiment, nitrogen (or helium) or the like was supplied to the interior of the environment chamber 7; however, depending on the wavelength band of the exposure illumination light, temperature controlled air which is chemically clean (the dry air described above) may solely be supplied to the interior of the environment chamber 7. For example, if the exposure wavelength is approximately 190 nm or greater, the interior of the environment chamber 7 may be given an air atmosphere. In this case, in the same way as with the circulation apparatus for recovering helium or nitrogen or the like which was supplied to the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL, a dry air circulation apparatus for recovering the dry air supplied to the environment chamber 7 may be provided, and the environment chamber 7 and the dry air circulation apparatus may be connected solely by means of pipe 95 without interposing a pipe 33.

Furthermore, in the same way as the helium circulation apparatus described above, the recovered nitrogen may be compressed using a compressor to 100 - 200 atmospheres, or alternatively, this may be liquefied using a liquefier employing a turbine or the like and stored in cylinder 40. The opening and closing valves V24 and V25 which are provided in, respectively, branch pipes 88a and 88b, make it possible to supply nitrogen to only one of the spaces between the illumination optical system and the projection optical system PL, or

between the projection optical system PL and wafer W, and when nitrogen is simultaneously supplied to both places, the opening and closing valves V24 and V25 need not be provided.

Furthermore, in the present embodiment, nitrogen is caused to flow between the illumination optical system and the projection optical system PL, and between a projection optical system PL and the wafer W; however, the environment chamber 7 may simply be connected to the pipe 88 without providing branch pipes 88a and 88b, and when the nitrogen concentration within the environment chamber 7 reaches a predetermined value or greater, the opening and closing valve V23 may be closed. Furthermore, irrespective of the existence of the branch pipes 88a and 88b, nitrogen may be supplied at a predetermined flow rate while the opening and closing valves V23 and V19 are opened, and nitrogen may thus be caused to circulate in the environment chamber 7. In this case, it is not particularly necessary to provide the opening and closing valves V23 and V19.

Furthermore, in the present embodiment, the majority of the illumination optical system was contained in the subchamber 6, and a portion of subchamber 6 was disposed within the environment chamber 7; however, the entirety of the subchamber 6 may be disposed within the environment chamber 7. In this case, it is possible to increase the recovery ratio of helium leaking from the subchamber 6. Furthermore, in order to also recover the helium leaking from that portion of the subchamber 6 which is disposed outside the environment chamber 7, the subchamber 6 outside the environment chamber 7 may be covered by a predetermined housing, and another inflow port of pipe 33 may be connected to the upper part of this housing.

Furthermore, in the present embodiment, only a single gas (nitrogen or helium) was supplied to the case 1, subchamber 6, and the projection optical system PL, respectively; however, it is also possible to supply a gas consisting of a mixture of nitrogen and helium at predetermined proportions. In this case, the pipe 88 of the nitrogen circulation apparatus may be connected to the pipe 31 of the helium circulation apparatus at the downstream side of the opening and closing valve VII. The mixed gas is not restricted to a combination of nitrogen and helium; neon, hydrogen, or the like may be combined. Furthermore, the gas supplied to the environment chamber 7 may also be the mixed gas described above.

Next, a second embodiment of the present invention will be explained with reference to Figure 3. This embodiment is one in which helium from a plurality of projection exposure apparatuses is recovered by a single helium recovery apparatus; in Figure 3, the parts corresponding to those in Figures 1 and 2 are given identical reference numbers, and a detailed description thereof is omitted. The pipes 92 - 94 which connect the case 1, subchamber 6, and projection optical system PL shown in Figures 1 and 2 with the pipe 33, respectively, and the pipe 95, which connects the environment chamber 7 and the pipe 33, are not depicted in the figure.

Figure 3 is a cross sectional view showing a plurality of projection exposure apparatuses and a single helium recovery apparatus in accordance with this embodiment; in Figure 3, environment chambers 7A, 7B, and 7C are disposed on floor F1, and exposure main units identical to the exposure main unit 26 of Figure 1 are installed in each of the environment chambers 7A, 7B, and 7C, and exposure light sources which are not depicted in the figure are disposed in close proximity. Helium gas having a predetermined purity or

greater is supplied to environment chambers 7A, 7B, and 7C from a helium supply apparatus on the lower floor which is not depicted in the figure. Then, the mixed gas of helium, nitrogen, and air which is supplied to the environment chambers 7A, 7B and 7C rises to the space in the vicinity of the ceiling of the interior thereof and is supplied via pipes 33A, 33B, and 33C to the common pipe 49. Common pipe 49 passes through an opening in floor F1 and travels to the helium recovery apparatus on floor F2 of the lower level. A suction pump 34 is installed in common pipe 49 at the bottom surface of floor F1.

In the helium recovery apparatus of the lower level, the mixed gas of helium, nitrogen, and air recovered via common pipe 49 and the suction pump 34 travels through the dust collecting and moisture removing apparatus 35, the impurity removal apparatus 80 and the pipe 36 and reaches the refrigerating apparatus 37, and the nitrogen liquefied at the refrigerating apparatus 37 is recovered in cylinder 40. The helium which is not liquefied by the refrigerating apparatus 37 is stored, for example under compression at high pressures, in the cylinder 50 for storing the helium via pipe 41 and suction pump 42. The recovered helium is supplied via the pipe 51 provided in the cylinder 50 to a regeneration facility for increasing the purity thereof or to the helium supply apparatus shown in Figure 1.

As explained in the first embodiment (Figures 1 and 2) described above, the helium recovery apparatus (33A through 33C, 34 - 42, 49, 50) in Figure 3 is combined with a nitrogen recovery apparatus. A plurality of projection exposure apparatuses may be connected with a single nitrogen supply apparatus (the parts in Figure 2 from pipe 81 to pipe 88), and the nitrogen stored in the cylinder 40 may be supplied to the plurality of projection exposure apparatuses via this nitrogen supply apparatus. By means of this, it is possible to

employ a single nitrogen circulation apparatus for a plurality of projection exposure apparatuses.

In this way, in the present embodiment, a single helium recovery apparatus and nitrogen circulation apparatus corresponds to a plurality of exposure apparatuses, so that recovery costs are reduced.

Next, a modification of the projection exposure apparatus of the first embodiment shown in Figures 1 and 2 will be explained with reference to Figure 4. In this embodiment, the reticle stage 20 and wafer stage 23 which are disposed within environment chamber 7 are contained in subchambers CH1 and CH2; in Figure 4, those parts which correspond to parts in Figure 1 are given identical reference numbers, and a detailed explanation thereof is omitted.

In Figure 4, so as not to expose the optical path between the illumination optical system (condenser lens 19) and the projection optical system PL to the air, subchamber CH1 encloses the space therebetween and is given a nitrogen atmosphere, and is connected to a branch pipe 88b of pipe 88 and pipe 96 which is connected to pipe 33, and an opening and closing valve V20 is provided in pipe 96. In Figure 4, subchamber CH1 is connected with projection optical system PL; however, in actuality, a structure is formed such that the vibration of subchamber CH1 is not communicated to the projection optical system PL. Subchamber CH1 may be formed so as to be integral with the subchamber 6, and furthermore, subchamber CH1 may be affixed on floor F1 via a frame which is different than the frame which affixes the projection optical system PL.

Subchamber CH2 is affixed on floor F1 (actually, on the base plate on which the exposure apparatus main body is installed), and, so that the optical path between the projection optical system PL (the optical elements closest to the wafer side) and the wafer W is not exposed to air, subchamber CH2 seals this space and is given a nitrogen atmosphere and is connected to the branch pipe 88a of pipe 88 and to pipe 95. Furthermore, as in the subchamber CH1, CH2 has a structure such that the vibration thereof is not communicated to the projection optical system PL.

In subchambers CH1 and CH2 at the point in time at which the nitrogen concentration of the interior thereof reaches a predetermined level or above, the opening and closing valves before and after (opening and closing valves V25 and V20, or opening and closing valves V24 and V19) may be closed, or alternatively, nitrogen may be circulated at a constant flow rate while these opening and closing valves are opened. Furthermore, branch pipes of the pipe 31 are connected to subchambers CH1 and CH2, and helium may be supplied in place of nitrogen.

Although not depicted in the Figure, at least one of the following is installed in subchamber CH2: a laser interferometer for detecting the positional data of wafer stage 23, an off axis type alignment optical system for detecting the alignment marks and the like on wafer W, or a oblique incidence light type positional detecting optical system for detecting the surface position of wafer W. It is preferable that the light source of the alignment optical system or the positional detecting optical system, as well as the detector and the like, be disposed outside subchamber CH2. Furthermore, laser interferometers (not depicted in the

figure) used in the control of the position of reticle stage 20 and wafer stage 23 are disposed in, respectively, subchambers CH1 and CH2.

Furthermore, in the present embodiment, an air conditioner (not depicted in the figure) is connected to circulation chamber 7, and air from which the impurities described above (organic matter and the like) have been removed and which has controlled temperature, pressure, and humidity, is circulated in the spaces other than the subchambers 6, CH1, and CH2, and thus the environment (temperature and the like) within the environment chamber 7 is maintained in an essentially constant manner. The pressure within subchambers CH1 and CH2 should be set so as to be higher than the pressure within the environment chamber 7 so that the air within the environment chamber 7 does not mix into the subchamber CH1 and CH2.

In this way, in the present embodiment, it is possible to prevent attenuation of the exposure light (ultraviolet pulse light IL) between the illumination optical system and the projection optical system PL, as well as between the projection optical system PL and the wafer W, and in comparison with the case in which a nitrogen atmosphere is provided in all the interior spaces of the environment chamber 7, the amount of nitrogen supplied (amount used) is comparatively small, and it is possible to efficiently exhaust, to the exterior of subchamber CH2, the contaminant substances generated at the surface of the resist by the application of the exposure light. The structure of this embodiment is identical to that of Figure 1 with the exception of subchambers CH1 and CH2 and the air conditioner described above, and the modifications described in the first and second embodiments may also be applied here. For example, it is possible to extend the branch pipe 88a within the

subchamber CH2, and blow (flow) nitrogen between the projection optical system PL and the wafer W in the same way as in Figure 1, and by means of this, it is possible to reduce the amount of contaminant materials which adhere to the projection optical system PL, and it is possible to efficiently conduct the recovery (exhaust) of these contaminant materials. In the present embodiment, nitrogen or helium was respectively supplied to the subchambers CH1 and CH2; however, other inert gases (neon, hydrogen, or the like) or mixed gases representing combinations thereof may be supplied, or alternatively, depending on the wavelength of the exposure light (for example, when the wavelength is approximately 190 nm or greater), the chemically clean dry air described above may be supplied. Furthermore, in place of supplying nitrogen or the like to subchambers CH1 and CH2, the interior thereof may be made into a vacuum.

In the projection exposure apparatuses shown in Figures 1 through 4, neither an alignment optical system or a oblique incidence light type focal point detection optical system is depicted; however, in the same way as with the subchamber 6 which contains the majority of the illumination optical system, these may be contained within a housing corresponding to at least a portion of the alignment optical system or the focal point detection optical system, and nitrogen or helium may be supplied to the interior of this housing. In this case, the housing may be connected to branch pipes of pipe 31 or pipe 88, and furthermore, where necessary, the housing may be connected with the pipe 33.

Furthermore, the reticle loader which transports the reticle R to the reticle stage 20, and the wafer loader which transports the wafer W to the wafer stage 23, are not depicted; however, the reticle loader and the wafer loader are independently contained in the

subchambers, and these subchambers are connected to the environment chamber 7 (in the example shown in Figure 4, the subchambers CH1 and CH2). In this case, for example, branch pipes of the pipe 88 may be connected to the subchambers so as to supply nitrogen, or dry air or the like, to the interior of the subchambers in which the reticle loader and the wafer loader are disposed or alternatively, air which has the impurities thereof described above removed therefrom and the temperature and the like of which is controlled may be supplied to the interior of the chambers. In the former option, the structure may be such as to permit the circulation of nitrogen by connecting the subchambers with pipe 33, while with the latter option, when nitrogen, helium, or dry air or the like is supplied to, in particular, the environment chamber 7 (subchambers CH1 and CH2), the pressure within the environment chamber 7 (or the subchambers CH1 and CH2) should be set higher than the pressure within the subchambers so that air does not flow into the subchambers in which the reticle holder and wafer holder are disposed.

Furthermore, in the embodiment described above, nitrogen or helium is supplied to environment chamber 7 or to subchambers CH1 and CH2, so that when the measured value of the oxygen concentration meter disposed in the interior goes below a predetermined value (for example, the approximate oxygen concentration in air), the doors of the environment chamber 7, or of the subchambers CH1 and CH2, are locked so that they can not be opened by the operator. Furthermore, when the supply of electrical power is halted or the like, the supply of nitrogen or helium is automatically halted, and the opening and closing valves (normally closed valves) of the exhaust ducts connected to environment chamber 7 or subchambers CH1 and CH2 separately from the recovery pipe 95 are opened, and the

concentration of nitrogen or helium in the interior decreases. Furthermore, when the operator opens environment chamber 7 or subchambers CH1 and CH2, the supply of nitrogen or helium is halted, and an oxygen cylinder is connected so as to supply oxygen to the interior thereof. By means of this, it is possible to shorten the time required to reach the predetermined value of the oxygen concentration described above. Here, the stoppage of the supply of the inert gas described above (nitrogen or helium or the like) is conducted when the environment chamber 7, the subchamber 6, CH1, CH2 or the case 1 is opened, or in other words, when maintenance is performed on the exposure apparatus (for example, the F₂ laser light source 3, the illumination optical system, the projection optical system PL, the reticle stage 20, and the wafer stage 23 or the like), or when the wafer cassette or reticle case is exchanged, and when the supply of electrical power to the exposure apparatus is cut off. At this time, simultaneous with the stoppage and supply of the inert gas, the chemically clean dry air described above is supplied to, respectively, the case 1, the subchamber 6, and the projection optical system PL, and it is desirable that the occurrence of fogging at the surfaces of the optical elements which accompany a stoppage in the supply of inert gases thus be prevented.

The exhaust duct described above which is connected to the environment chamber 7 separately from the pipe 95 has a much larger exhaust capacity in comparison with the pipe 95, in order to rapidly increase the oxygen concentration within the environment chamber 7 to the predetermined value described above or above this value. Furthermore, the other end of this exhaust duct may open to the outside of the clean room (the semiconductor facility), that is to say, to the atmosphere; however, it is desirable that it be connected to a large

capacity tank or the like and that the inert gas be recovered. The inert gas recovered in this tank may be sent to the helium recovery apparatus described above through pipes, or the purity thereof may be increased by a regeneration apparatus.

Furthermore, in the embodiment of the present invention described above, helium gas is employed as the gas having high transmittivity with respect to the exposure energy beam (is inert) and which has good thermal conductivity; however, the present invention may be applied even when gases other than helium (for example, neon (Ne), hydrogen (H₂), or a mixed gas of helium and nitrogen or the like) are used as this gas. Furthermore, in exposure apparatuses employing exposure light having a wavelength of, for example, 190 nm or more, it is possible to employ nitrogen (particularly of higher purity) as the gas supplied to the projection optical system PL; however, the present invention may be applied in these cases as well.

Furthermore, in the embodiment of the present invention described above, a F₂ laser was employed as an exposure light source; however, a KrF excimer laser (wavelength 248 nm), a ArF excimer laser (wavelength 193 nm), a Kr₂ laser (wavelength 147 nm) or Ar₂ laser (wavelength 126 nm) or the like may be employed, and the present invention may be applied with respect to exposure apparatuses provided with such light sources, as well. However, in exposure apparatuses employing, for example, KrF excimer lasers, it is not necessary to exchange the air within the projection optical system for nitrogen or helium or the like, and only the air of the KrF excimer laser source and the air within the illumination optical system need be replaced with nitrogen or the like. Furthermore, it is not necessary that the gas supplied to the environment chamber 7 be nitrogen or the like; it is possible to

use the air from which impurities have been removed which is described above. The present invention may be applied even in the case of an exposure apparatus which supplies nitrogen or the like only to the light source and the illumination optical system, or only to the illumination optical system. In this type of exposure apparatus, in place of nitrogen, it is possible to employ the chemically clean dry air described above; however, it is possible to apply the present invention to exposure apparatuses which employ dry air as well.

Furthermore, the present invention is also applicable to the case in which, in place of the excimer laser, a wavelength of, for example, 248 nm, 193 nm, or 157 nm, or the higher harmonics of a solid state laser such as a YAG laser having an oscillation spectrum in the vicinity thereof, is used as the excitation light. Furthermore, the present invention is even applicable in the case in which a single wavelength laser in the infrared band or in the visible band oscillating from, for example, an DFB semiconductor laser or fiber laser is amplified by a fiber amplifier which is doped, with, for example, erbium (Er) (or both erbium and ytterbium (Yb)), and the higher harmonics resulting from wavelength conversion to ultraviolet light using a non-linear optical crystal is employed as the excitation light.

Concretely, when the excitation wavelength of the single wavelength laser is set within a range of 1.51 - 1.59 μm , then the 8-fold higher harmonic having a generated wavelength within a range of 189 - 199 nm or the 10-fold higher harmonic having a generated wavelength within a range of 151 - 159 nm is outputted. In particular, when the oscillation wavelength is within a range of 1.544 - 1.553 micrometers, then the 8-fold higher harmonic within a range of 193 - 194 nm, that is to say, ultraviolet light having

approximately the same wavelength as that of a ArF excimer laser, is obtained, while when the oscillation wavelength is within a range of 1.57 - 1.58 micrometers, then the 10-fold higher harmonic within a range of 157 - 158 nm, that is to say, ultraviolet light having essentially the same wavelength as that of a F₂ laser, is obtained.

Furthermore, when the oscillation wavelength is set within a range of 1.03 - 1.12 micrometers, then the 7-fold higher harmonic having a generated wavelength within a range of 147 - 160 nm is outputted, and in particular, when the oscillation wavelength is within a range of 1.099 - 1.106 micrometers, then the 7-fold higher harmonic having a generated wavelength within a range of 157 - 158 nm, that is to say, ultraviolet light having essentially the same wavelength as that of the F₂ laser, is obtained. It is possible to use a ytterbium doped fiber laser or the like as the single wavelength oscillating laser.

Furthermore, the exposure apparatus to which the present invention is applied may be either a stepping exposure type (for example, a step and repeat type) or a scanning exposure type (for example, a step and scan type). Furthermore, the present invention can be applied to exposure apparatuses of the mirror projection type or the proximity type. When a projection optical system is employed, this optical system may be a refraction system, a reflection system, or a cata-dioptic system; furthermore, a reduction system, a magnification system, or an enlargement may be employed.

Furthermore, the present invention is applicable not merely to exposure apparatuses which are used in the manufacture of microdevices such as semiconductor elements, liquid crystal elements (display devices), thin film magnetic heads, or image acquisition elements (CCD), but may also be applied to exposure apparatuses which transfer a circuit pattern onto

a glass substrate or a silicon wafer or the like in order to produce a reticle or a mask. Here, a transmission type reticle is commonly employed in exposure apparatuses which employ DUV (distant ultraviolet) light or VUV (vacuum ultraviolet) light or the like, and silica glass, fluorine doped silica glass, quartz, magnesium fluoride, or quartz crystals or the like are employed as the reticle substrate. Furthermore, reflective masks are employed in exposure apparatuses which employ EUV (extreme ultraviolet) light as the exposure energy beam, and transmission type masks (stencil masks, membrane masks) are employed in proximity type X-ray exposure apparatuses or electron beam exposure apparatuses or the like, and silicon wafers are commonly employed as these mask substrates.

Illumination optical systems and projection optical systems comprising a plurality of optical elements are combined with an exposure apparatus main body and optical adjustment is conducted, a reticle stage or wafer stage comprising a plurality of physical parts is attached to the exposure apparatus main body and wires or pipes are connected, and the case 1, exposure optical system (subchamber 6), projection optical system PL, and environment chamber 7, respectively, are connected with the helium circulation apparatus or nitrogen circulation apparatus or the like, and furthermore, by conducting overall adjustment (electrical adjustment, operational adjustment, or the like), it is possible to construct an exposure apparatus of the embodiments described above. It is desirable that the manufacture of the exposure apparatus be conducted in a clean room in which the temperature and degree of cleanliness are controlled.

Furthermore, semiconductor devices are produced via a step in which the qualities and characteristic of the device are designed, a step in which, based on the design step, the

reticle is produced, a step in which a wafer is produced from a silicon material, a step in which the pattern of the reticle is exposed onto the wafer by means of an exposure apparatus of the embodiments described above, a step in which the device is assembled (including a dicing procedure, a bonding procedure, and a packaging procedure), and a testing step and the like.

Next, an example of the third embodiment of the present invention will be explained with reference to the figures. This embodiment is one in which the present invention is applied to a step and scan type projection exposure apparatus for the production of semiconductor devices in which helium gas is supplied to the majority of the optical path of the exposure light.

Figure 5 shows the outlines of the structure of the projection exposure apparatus of the present embodiment and the hydrogen supply apparatus; in this Figure 5, the projection exposure apparatus is disposed within a clean room on a floor F101 of a semiconductor manufacturing facility, and a hydrogen supply apparatus for supplying helium gas to the projection exposure apparatus, and a recovery apparatus for recovering a portion of the helium gas, are disposed within an equipment chamber (utility space) on a floor F102 on a lower floor. In this way, the apparatuses which are likely to give rise to particulate matter and to be sources of vibration are disposed on a floor which is different than the floor on which the projection exposure apparatus is installed, and thereby, it is possible to set the interior of the clean room in which the projection exposure apparatus is installed to an extremely high degree of cleanliness, and to reduce the effects of vibration on the projection exposure apparatus.

First, a cylinder 132 which stores compressed helium gas is installed on floor F102, and helium, the temperature of which is controlled and is at a predetermined pressure, is supplied from this cylinder 132 to a pipe 131 which passes through a passage hole provided in floor F101 of the upper level. An electromagnetic type opening and closing valve 134 and blowing fan 133 are installed in pipe 131 at the side of bottom surface of the floor F101, and by means of this, the amount of helium supplied can be controlled.

Next, in the clean room on floor F101, a box shaped case 101 is installed via vibration isolation platforms 102A and 102B, and in this case 101, a F₂ laser light source 103 (with an oscillation wavelength of 157 nm) is installed as a exposure light source, and a beam matching unit (BMU) 104 containing movable mirrors and the like for positionally matching the optical path with the exposure main unit, and a light isolating pipe 105 through the interior of which the exposure light passes, are also installed. KrF or ArF excimer laser light sources or the like may be employed as the exposure light sources. Furthermore, an environment chamber 107 which is box shaped and which has good airtightness is disposed next to case 101, and within environment chamber 107, a fixed platform 124 is installed on floor F101 via vibration isolation platforms 125A and 125B for reducing the vibration from the floor, and exposure main unit 126 is disposed on fixed platform 124. Furthermore, a subchamber 106 having good airtightness is disposed in a framing manner from the pipe 105 which projects from within the case 101 to the interior of environment chamber 107, and the majority of the illumination optical system is contained in the subchamber 106.

In Figure 5, during exposure, an ultraviolet pulse light IL having a wavelength of 157 nm reaches the interior of subchamber 106 via BMU 104 and the interior of pipe 105 as

exposure light emitted from the F_2 laser light source 103 within case 101. In subchamber 106, the ultraviolet pulse light IL enters into a fly eye lens 111 via a beam forming optical system comprising, as an optical attenuator, a variable light reducer 108, and lens systems 109A and 109B. An aperture stop system 112 of the illumination system which serves to variously modify the illumination conditions is disposed at the output surface of the fly eye lens 111.

The ultraviolet pulse light IL which is emitted from the fly eye lens 111 and passes through a predetermined aperture diaphragm in the aperture stop system 112 passes a reflection mirror 113 and a condenser lens system 114 and is inputted into a fixed illumination field diaphragm (fixed blind) 115A having a slit shaped opening within a reticle blind mechanism 116. Furthermore, a movable blind 115B which serves to change the width in the scanning direction in the illumination field region is disposed within reticle blind mechanism 116 separately from fixed blind 115A, and by means of this moveable blind 115B, a reduction in the movement stroke in the scanning direction of the reticle stage, and a reduction in the width of the light blocked band of the reticle R, are achieved.

The ultraviolet pulse light IL which is formed in a slit shape by the fixed blind 115A of the reticle blind mechanism 116 passes image forming lens system 117, reflection mirror 118 and main condenser lens system 119, and illuminates at an equal intensity a slit shaped illumination region on the circuit pattern of reticle R. In the present embodiment, the space from the output surface of light-insulating pipe 105 to the main condenser systems 119 is contained within subchamber 106, and furthermore, the space from the inner part of pipe 105 to the output surface of the F_2 laser light source 103 is airtight, and communicates with

the space within subchamber 106. Furthermore, helium gas which has a specified purity or greater and is temperature controlled is supplied from two points from the helium circulation apparatus into the space within subchamber 106 via branch pipes 131a and 131b of pipe 131. Helium has a low molecular weight and is susceptible to leaking, so that a portion of the helium which naturally leaks out of subchamber 106 rises and collects in the space 107a in the vicinity of the ceiling of the environment chamber 107.

On the basis of ultraviolet pulse light IL, the circuit pattern within the illumination region of reticle R is illuminated onto the slit shaped exposure region of the resist layer on a wafer W via projection optical system PL. This exposure region is positioned on one shot region within a plurality of shot regions on the wafer. The projection optical system PL in the present embodiment is a dioptric system (refraction system); however, since the glass which is able to transmit ultraviolet light having this type of short wavelength is limited, the projection optical system PL may be made a cata-dioptric system or a reflection system so as to increase the transmittivity of the ultraviolet pulse light IL in the projection optical system PL.

Furthermore, in the same manner as the interior of subchamber 106, temperature controlled helium gas having a predetermined concentration or greater is supplied to the entirety of the space within the barrel of the projection optical system PL of the present embodiment (the space between the plurality of lens elements), from the helium circulation apparatus in the lower floor and via branch pipe 131b of pipe 131. The helium leaking from the barrel of the projection optical system PL rises and collects in the space 107a in the vicinity of the ceiling of the environment chamber 107. In the following, a Z axis is

obtained which is parallel to the optical axis AX of the projection optical system PL, and in a plane perpendicular to the Z axis, a X axis will be established which is parallel to the paper surface of Figure 5, and a Y axis will be established which is perpendicular to the paper surface of Figure 1.

At this time, reticle R is supported by vacuum on the reticle stage 120, and reticle stage 120 is made moveable at a constant velocity in the X direction (the scanning direction) on reticle base 121, and is installed so as to be capable of slight movements in the X direction, the Y direction, and the rotational direction. The two dimensional position of reticle stage 120 (reticle R) and the rotational angle thereof are controlled by a drive control unit, which is not depicted in the figure, which is provided with a laser interferometer.

On the other hand, wafer W is supported by vacuum on a wafer holder not depicted in the figure, and the wafer holder is affixed to the sample platform 122, while the sample platform 122 is positioned on the XY stage 123, and the XY stage 123 is placed on fixed platform 124. The wafer stage comprises sample platform 122, the XY stage 123, and guide members not depicted in the figure, and sample platform 122 controls the focus position of wafer W (the position in the Z axis) in an auto focus manner, and controls the angle of inclination, so as to bring the surface of wafer W into agreement with the image plane of the projection optical system PL. Furthermore, XY stage 123 conducts the constant velocity scanning of wafer W in the X direction, and stepping in the X and Y directions. The two dimensional position of XY stage 123 (wafer W) and the rotational angle thereof are controlled by means of a drive control unit which is not depicted in the figure and which is provided with a laser interferometer. During scanning exposure, reticle R is scanned at a

velocity of V_r in the + X direction (or in the - X direction) with respect to the illumination area of the ultraviolet pulse light IL , via reticle stage 120, and synchronously therewith, this wafer W is scanned in the - X direction (or in the + X direction) at a speed of $\beta \cdot V_r$ (where β is the projection magnification from reticle R onto wafer W), with respect to the exposure region and via the XY stage 123.

Furthermore, the XY stage 123 in the wafer stage of the present embodiment is of a type which moves in a non-contacting manner along a guide surface by the static pressure gas bearing method, and the same helium which is supplied to the optical path of the ultraviolet pulse light IL may be employed as the gas of this static pressure gas bearing. Furthermore, the vibration isolation platforms 125A and 125B which support the fixed platform 124 employ the gas spring method, and helium is used as the gas of this gas spring. For this reason, a temporary storage cylinder is disposed within environment chamber 107, and helium is supplied from the hydrogen supply apparatus of the lower floor to the temporary storage cylinder 127 via branch pipe 131c of pipe 131, and helium is supplied to the XY stage 123 from the temporary storage cylinder 127 via a highly flexible pipe 128 (which comprises a plurality of pipes in actuality), and in parallel with this, helium is supplied to vibration isolation platforms 125A and 125B as well via highly flexible pipe 129 (in actuality comprising a plurality of pipes). The static pressure gas bearing mechanism of the XY stage 123 will be discussed hereinbelow.

Furthermore, in the present embodiment, nitrogen gas (N_2), which is temperature controlled, and the amount of oxygen contained in which is suppressed at an extremely low level, is supplied to the interior of the environment chamber 107 from a nitrogen circulation

apparatus on the lower floor which is not depicted in the figure. Then, the nitrogen gas circulating in the environment chamber 107 returns from, for example, an exhaust hole (not depicted in the figure) in the lower surface side of the environment chamber 107 to the nitrogen circulation apparatus. In place of the nitrogen gas, helium may be circulated to the entirety of the interior of the environment chamber 107.

Next, within environment chamber 107, the helium which leaks from the subchamber 106 and the helium which leaks from the projection optical system PL and the XY stage 123 and the like is lighter than the air or nitrogen which becomes mixed in from the exterior of the environment chamber 107, so that it rises and collects in the space 107a in vicinity of the ceiling. In the present embodiment, a pipe 135 is connected to this space 107a from the exterior of the environment chamber 107, and the pipe 135 passes through an opening provided in floor F101 and communicates with the helium recovery apparatus in the lower floor. A suction fan 136 is installed in the pipe 135 at the bottom surface side of floor F101, and the gas which is sucked from the space 107a by the pipe 135 and the fan 136 is recovered in recovery cylinder 137 on the floor F102 of the lower floor. A dust collecting and moisture removing apparatus, and a separation apparatus for separating the helium from the other gases, are provided within the cylinder 137, and the separated helium is stored, and where necessary, is supplied to a process for increasing the purity thereof.

Next, the static pressure gas bearing mechanism of the XY stage 123 on the wafer stage side of the present embodiment will be explained with reference to Figure 6.

Figure 6 shows a cross sectional view of a portion of the wafer stage in Figure 5 viewed from the X direction, and in this Figure 6, wafer W is affixed to the upper plate 141

via a sample platform 122, and a bottom plate 142 is affixed to the bottom surface of the upper plate 141, and bottom plate 142 is placed on the upper surface of fixed platform 124, which upper surface is polished so as to be flat. Furthermore, the bottom plate 142 is affixed to bearing plates 143A and 143B so as to be sandwiched therebetween in the Y direction, and two X guide bars 144A and 144B are installed in a framing manner parallel thereto along the X direction so as to sandwich the bearing plates 143A and 143B in the Y direction. The upper plate 141, lower plate 142, and bearing plates 143A and 143B comprise the XY stage 123, and the XY stage 123 is driven in the X direction along the X guide bars 144A and 144B by a linear motor which is not depicted in the figure.

Furthermore, the X guide bars 144A and 144B are unitary, and are driven in the Y direction by a linear motor which is not depicted in the figure along two Y guide bars 145A (a further one is disposed on the front side) which are disposed so as to extend in the Y direction.

Furthermore, a passage hole 147A is formed from upper plate 141 to bearing plate 143A, and helium compressed to a predetermined pressure is supplied from the temporary storage cylinder 127 in Figure 5 to passage hole 147A on the upper plate 141 side via pipe 128A, and this helium is blown out from blow hole 147Aa of bearing plate 143A onto the X guide bar 144A. In the same way, helium compressed to a predetermined pressure is supplied from the temporary storage cylinder 127 in Figure 5 to the passage hole 147B on the upper plate 141 side via pipe 128B, and this helium is blown from blow hole 147Ba within bearing plate 143b onto the X guide bar 144B. By means of this, the bearing plates 143A and 143B are supported in a non-contacting manner while maintaining a predetermined gap with X guide bars 144A and 144B.

Furthermore, a passage hole 148 is formed from upper plate 141 to lower plate 142, and helium which is compressed to a predetermined pressure is supplied from the temporary storage cylinder 127 of Figure 5 to the passage hole 148 on the upper plate 141 side via pipe 128C, and this helium is blown from the blow hole 148a which is provided in the bottom surface of the bottom plate 142 onto the fixed platform 124. A shallow gas pocket part 142a is formed in the region containing the blow hole 148a of the bottom surface of the bottom plate 142, and by means of the pressurized helium which collects in this gas pocket part 142a, the XY stage 123 floats on the upper surface of the fixed plate. Here, an air intake hole 149a is formed in the periphery of the gas pocket part 142a of the bottom surface of the bottom plate 142 so that the XY stage 123 does not float excessively, and the air intake hole 149a communicates with the passage hole 149 which is formed within bottom plate 142 and upper plate 141. The passage hole 149 is connected to a suction pump which is not depicted in the figure via highly flexible pipe 146, and by sucking gas (chiefly helium) from above fixed platform 124 through the air intake hole 149a of the bottom plate 142 using this vacuum pump, the XY stage 123 is stably supported in a non-contacting manner above the fixed platform 124.

In this way, the XY stage 123 of the present embodiment is placed in a non-contacting manner in the Z direction with respect to the fixed platform 124 by the gas bearing method employing helium and is installed in a non-contacting manner in the Y direction with respect to the X guide bars 144A and 144B by the gas bearing method using helium, so that it is possible to move this stage at a high rate of speed using an extremely small amount of force in the X direction and the Y direction on the fixed platform 124.

In this way, in the present embodiment, helium gas which has a transmittivity with respect to light of 150 nm or less, as well, is supplied to the optical path of the ultraviolet pulse light IL from the output surface of the F₂ laser light source 103 of Figure 5 to the main condenser lens system 119, as well as to the optical path of the ultraviolet pulse light IL within the projection optical system PL. Furthermore, the spaces from the main condenser lens system 119 to the input surface of the projection optical system PL, and from the output surface of the projection optical system PL to the surface of the wafer W are supplied with nitrogen gas, which does not have very good transmittivity with respect to light of 150 nm or less; however, the optical path which passes through this nitrogen gas is extremely short, so that there is little absorption as a result of the nitrogen gas. Accordingly, the ultraviolet pulse light IL which is emitted from the F₂ laser light source 103 reaches the surface of wafer W at an overall high transmittivity (efficiency of use), so that it is possible to reduce the exposure period (scanning exposure period) and it is possible to increase the throughput of the exposure process.

Furthermore, in the present embodiment, the gas used for the static pressure gas bearing using the XY stage 123 on the wafer side is helium, and the gas employed in the vibration isolation platforms 125A and 125B is also helium. For this reason, there is no decline in the purity of the helium of the optical path of the ultraviolet pulse light IL as a result of the use of the static pressure air bearings or the like during exposure, and the addition of a gas having a lower transmittivity is prevented in the remainder of the optical path of the ultraviolet pulse light IL, so that the overall transmittivity of the ultraviolet pulse light IL does not decline.

Furthermore, the nitrogen and helium are inert, so that fogging substances are not deposited on the optical members in the optical path of the ultraviolet pulse light IL as a result of chemical reactions.

Furthermore, helium has a thermal conductivity which is approximately six times that of nitrogen, so that the heat energy which is built up as a result of the application of the ultraviolet pulse light IL at the optical elements within the illumination optical system and the optical elements within the projection optical system PL is efficiently transmitted to, respectively, the cover of the subchamber 106, and the barrel of the projection optical system PL via the helium gas. Furthermore, the heat energy of the cover of the subchamber 106, and the barrel of the projection optical system PL, is efficiently exhausted to the exterior, such as lower floors, or the like, by temperature controlled air within the clean room or by temperature controlled nitrogen gas within the environment chamber 107. Accordingly, the rise in temperature of the optical elements of the illumination optical system and the projection optical system PL can be maintained at a very low level, and it is possible to control degradation and image formation characteristics at a minimum level. Furthermore, the amount of change in the index of refraction of helium in response to changes in air pressure is very small, so that the amount of change in the index of refraction within, for example, the projection optical system PL is extremely small and for this reason, as well, it is possible to maintain stable image formation characteristics.

Among the machinery employed in the projection exposure apparatus, that which employs gas includes, for example, gas type cylinder apparatuses employed in the conveyance of the reticle holder system or the wafer holder system. The cylinder

apparatuses are provided with a plurality of pistons, and by extending and retracting these pistons using gas, predetermined parts may be moved. It is desirable that helium be used as the gas in these cylinder apparatuses. By means of this, the transmittivity of the ultraviolet pulse light IL can be further improved.

In the embodiment described above, a F_2 laser light was employed as the exposure energy beam; however, even in cases when a ArF excimer laser light (with a wavelength of 193 nm) or KrF excimer laser light (with a wavelength of 248 nm) or X-rays or the like are employed as the exposure energy beam, when an inert gas such as helium or nitrogen is supplied to at least a portion of the optical path of the exposure energy beam as a gas having good transmittivity, the present application may be applied. In particular, when exposure light having a wavelength within a range of 250 nm - 200 nm, such as KrF excimer laser light, is employed, inexpensive nitrogen can be employed as the gas having good transmittivity. When nitrogen is employed in this way, it is desirable that the gas used in the static pressure air bearing of the XY stage 123 in Figure 6 and as the gas in the vibration isolation platforms 125A and 125B in Figure 5 be nitrogen.

On the other hand, in a projection exposure apparatus which employs ArF excimer laser light having a wavelength of 193 nm as the exposure light, when the projection optical system comprises a cata-dioptric optical system, it is desirable that helium, which has little change in the refractive index, be employed as the gas used to purge the optical system. In this case, the illumination optical system may be purged with either nitrogen or helium; however, it is desirable that the same gas be employed as in the projection optical system, that is to say, helium. Furthermore, when ArF excimer laser light is employed and a

projection optical system is employed which comprises a refraction optical system, nitrogen may be employed as the gas used to purge the interior of the projection optical system; however, the use of helium is desirable.

Furthermore, in the present embodiment, an inert gas (helium or nitrogen or the like) which was identical to that used for purging which was supplied to the illumination optical system and projection optical system PL was employed as the gas used in the static pressure gas bearing mechanism (Figure 6), the air cylinder apparatuses, and the like in the present embodiment; however, when, for example, helium is supplied to the projection optical system PL and the like and nitrogen is supplied to the environment chamber 107, the space between the illumination optical system and the projection optical system PL, and the space between the projection optical system PL and the wafer W have nitrogen atmospheres, so that nitrogen may employed in the static pressure gas bearing mechanism described above and the like. At this time, a gas consisting of a mixture of nitrogen and helium at predetermined proportions may also be used in the static pressure gas bearing mechanism and the like.

Furthermore, the first gas which is employed in the static pressure gas bearing mechanism and the like described above, and a second gas for purging which is supplied to the illumination optical system and the projection optical system PL (an inert gas such as nitrogen, helium, or the like), or a second gas which is supplied to the environment chamber 7 (an inert gas for chemically clean dry air or the like) need not have completely identical compositions, or alternatively, if the compositions are the same, the purity (concentration) thereof need not be identical. For example, a mixed gas containing two or more gases (inert

gases) containing the second gas, or a gas which is the same as the second gas but has a lower purity than the second gas may be employed as the first gas.

Furthermore, if the gas (inert gas) is capable of reducing attenuation in exposure light, then this gas may be used as the first gas even if it differs from the second gas. That is to say, if the gas is such as to have the same or similar optical characteristics (transmittivity or the like) as the second gas, even if it differs from the second gas, it may be employed as the first gas. For example, when helium is used as the second gas in an exposure apparatus which employs exposure light in the vacuum ultraviolet band having a wavelength of 200 nm or less, at least one type of inert gas (nitrogen or the like) other than helium may be employed as the first gas. Furthermore, when nitrogen is employed as the second gas in an exposure apparatus which uses exposure light having, for example, a wavelength of 190 nm or more, at least one type of inert gas other than nitrogen, or chemically clean dry air (desiccated air) may be employed as the first gas. Here, what is meant by chemically clean is a state in which impurities including the silicon system organic materials and the like described above have been removed.

Furthermore, the exposure main unit 126 of the present embodiment is a step and scan type; however, it is of course the case that the present invention may be applied even when a stepping exposure type or a proximity type or the like is employed.

In the embodiment described above, helium gas was supplied to the optical path of the ultraviolet pulse light IL from the output surface of the F₂ laser light source 103 to the main condenser lens system 119, and to the optical path of the ultraviolet pulse light IL within the projection optical system PL, and nitrogen was supplied from the main condenser

lens system 119 to the input surface of the projection optical system PL, and from the output surface of the projection optical system PL to the surface of the wafer W; however, it is also possible to apply the helium circulation apparatus and nitrogen circulation apparatus shown in the first and second embodiments to this embodiment. Furthermore, the modifications described in the first and second embodiments may be applied in an unchanged fashion.

In the first through third embodiments described above, a fly eye lens was used as an optical integrator (homogenizer); however, in place of the fly eye lens, a rod integrator may be employed, or alternatively, a fly eye lens and a rod integrator may be employed in a combined manner.

Figure 7 is a diagram showing an example of a preferred support structure for the optical elements of the projection optical system PL in the first embodiment of Figure 1, the second embodiment shown in Figure 4, and the third embodiment shown in Figure 5.

Five refraction type lenses L201 - L205 are supported within a cylindrical barrel LB via lens support tubes 251 and 252, and a parallel flat plate L211 which corrects distortion, particularly the non-rotationally symmetric component, is supported via a lens support tube 253 at the reticle side end of barrel LB, and parallel flat plate L212, which compensates for the spherical aberration, as well as a parallel flat plate L213, which compensates for the eccentric top aberration, are supported at the wafer side end of the barrel LB via lens support member 254.

Lenses L201 and L202 are pressure supported in support tube 251 by flat spring 261. As shown in detail in Figure 8, one end of flat spring 261 is screwably attached to the projecting end 251a of lens support tube 251 with a bolt 262, while the other end presses

against the pressure flat face of the outer circumferential part of lens L201, and by means of this, lens L201 is held from both sides by pressure against projecting part 251a. Lens L202 is affixed in lens barrel LB in the same manner. Both lenses L201 and L202 are supported in lens barrel LB via support tube 251 without the use of any adhesive (or filler).

As shown in Figure 7, lenses L203 - L205 are held by pressure in support tube 252 by screw ring 263. A female thread is provided in the inner wall of support tube 252, and screw ring 263 is screwably attached thereto. When screw ring 263 is screwably advanced and the end surface thereof presses against the pressure flat part of the outer circumferential part of lenses L203 - L205, lenses L203 - L205 are supported from both sides by pressure against the projecting part 252a of the support tube 252. Lenses L203 - L205 are supported in lens barrel LB via support tube 252 without the use of any adhesive (or filler) at all.

As shown in Figure 7, parallel flat plate L211 is press-supported on support tube 253 by flat springs 271. Support tube 253 is screwably attached to barrel LB. One end of flat spring 271 is screwably attached to support tube 253 by bolts 272, while the other end presses against the outer circumferential part of the flat plate L211, and by means of this, the flat plate L211 is supported from both sides by pressure against the support tube 253. Flat plate L211, as well, is supported in lens barrel LB via support tube 253 without the use of any adhesive (or filler) at all.

As shown in Figure 7, parallel flat plate L212 is supported in support tube 254 by flat spring 273. One end of flat spring 273 is screwably attached to support tube 254 by bolt 274, while the other end thereof presses against the outer circumferential part of the parallel flat plate L212, and by means of this, parallel flat plate L212 is supported from both sides by

compression against support tube 254. Support tube 254 is supported between the support tube 252 and the barrel LB. Parallel flat plate L213 is affixed to the support tube 254 so as to bracket the spacer ring 275 between it and parallel flat plate L211. Parallel flat plates L212 and L213, as well, are supported in barrel LB via support tube 254 without the use of any adhesive (or filler) at all.

It is possible to use ring shaped flat springs as the flat springs 261, 271, and 273; however, a plurality of belt shaped flat springs may also be disposed at predetermined angles. Furthermore, in the foregoing, the optical elements were attached and supported by the support tubes using flat springs or screw rings; however, the optical elements may be supported by elements of other forms.

Next, the fly eye lenses 11, and 111 will be explained in detail with reference to Figures 9 and 10.

As shown in Figures 9 and 10, fly eye lenses 11 and 111 are produced by bundling a plurality of rod lenses L260 having the shape of square columns in a support mechanism 280 wherein they are arranged in the form of a matrix, as shown in Figure 10B. Support apparatus 280 is provided with frames 281 and 282 which have the shape of rectangular rings and on the inside of which are collected and contain the rod lenses L260; pressing plates 283 - 286, which press the rod lenses L260 collected in frames 281 and 282 from the four side surfaces; a silica plate 287, which arranges the position in the direction of the optical axis of the rod lenses L260 and which is disposed at one end surface of the rod lenses L260; pressing blocks 288 - 291, which serve to press the rod lenses L260 from one side via pressing plates 283 - 286; and pressing plates 292 - 295, one end of which is affixed

to the pressing blocks 288 - 291 and the other end of which presses silica plate 287. The pressing blocks 288 - 291 are attached to affixing fixtures which are not depicted in the figure. In this way, the rod lenses L260 are collected and supported without the use of any adhesive (or filler) at all. In Figure 10B the regions other than the regions indicated by slanting lines are those regions which may be effectively employed as the fly eye lens.

In this way, the optical elements such as lenses, reflecting mirrors, and the like are supported by support members such as support tubes or the like using flat springs or screw rings without the use of adhesives. Accordingly, the volatilization of the organic solvents of adhesives as a result of the application of the ArF excimer laser is eliminated, and contamination of the surfaces of the optical elements by organic materials is prevented. As a result, a decline in the transmittivity of the optical system is prevented. Furthermore, a phenomenon is known in which the contaminant substances which are deposited on the surfaces of the optical elements are stripped from the surfaces of the optical elements by the effects of the light washing of the excimer laser, and as the exposure time passes, the transmittivity rises, and when the illumination of the excimer laser is halted, these are redeposited and the transmittivity decreases; however, by means of supporting the optical elements on support members without the use of adhesive, the generation of the contaminant materials themselves is suppressed, and it is possible to control fluctuations in the transmittivity of the optical system.

In the correspondence between the example of the projection optical system explained above and the elements in the claims, the various lenses 9A (109A), 9B (109B), 11 (111), 13 (113), L201, and L202... form the optical elements, support tubes 251, 252,

253, and 254 and the like form the support members, and flat springs 261, 271, and 273 and pressure ring 263 form the press-attachment mechanism.

INDUSTRIAL APPLICABILITY

In accordance with the exposure apparatus and the device manufacturing apparatus of the present invention, at least a portion of the gas having high transmittivity with respect to the exposure energy beam (exposure light) and which has good heat transmittivity is recovered, so that the efficiency of use of the exposure energy beam is increased, and the cooling efficiency of the optical elements and the like of the exposure apparatus is increased, and this has an advantage in that the amount of gas employed can be reduced. In other words, this gas can be recycled to a certain extent, and the operating costs of the exposure apparatus can be reduced.

Furthermore, when this gas is helium, because helium is stable and has a high transmittivity and high thermal conductivity, the efficiency of use of the exposure energy beam is particularly increased, and the cooling effects are increased. On the other hand, helium has low availability and is high in cost, so that the effect of reduction of the operating costs by means of the present invention is particularly large.

Furthermore, when the gas recovery apparatus is commonly employed by a plurality of exposure apparatuses, the recovery costs can be further decreased.

Furthermore, in the case in which the gas recovered by the gas recovery apparatus is recirculated to the optical path of the exposure energy beam via at least one gas supply apparatus, it is possible to reduce the amount of gas for replenishment.

Furthermore, when the gas supply apparatus is provided with a concentration meter for measuring the concentration of the gas supplied from the gas recovery apparatus, a gas source which is filled with this gas, and a control unit which replenishes the gas supplied from the gas recovery unit with gas from the gas source in accordance with the results of the measurement of the concentration meter, this has the advantage that gas can always be supplied to the optical path of the exposure energy beam at a predetermined purity (concentration) or above. Furthermore, when the gas is compressed at high pressures or is liquefied and stored, it is possible to store a large amount of this gas in a small space.

Furthermore, in accordance with the exposure apparatus of the present invention, a gas (a second gas) having a predetermined high transmittivity is supplied to at least a portion of the optical path of the exposure energy beam (exposure light), and in this case, the gas of the gas controlled drive apparatus is the same type as the second gas having high transmittivity. Accordingly, the concentration of the second gas does not decrease, so that the exposure energy beam can be guided to the substrate with high efficiency, and this has an advantage in that it is possible to increase the throughput of the exposure process.

Furthermore, when the gas controlled drive apparatus is a stage apparatus which makes contact with the guide surface using a gas bearing method, this stage is disposed at a position close to the mask or the substrate, so that the transmittivity of the exposure energy beam is maintained at a high level.

Furthermore, when the exposure energy beam is ultraviolet light having a wavelength of 250 nm or less and nitrogen or helium is employed as this second gas, nitrogen has a low cost, while helium has high transmittivity and good thermal conductivity.

Furthermore, when the exposure energy beam is a X-ray, when nitrogen or helium is employed as the second gas, a certain amount of transmittivity can be obtained if the distance over which the X-ray must pass through the gas short.

Furthermore, in accordance with exposure apparatus of the present invention, all of the optical elements of the illumination optical system and the projection optical system are supported on support elements using press-attachment mechanisms without the use of adhesive, so that the volatilization of the organic solvents of the adhesives by the application of the ultraviolet light, and the contamination of the surfaces of the optical elements are prevented, and it is possible to control declines or fluctuations in the transmittivity.

Furthermore, the fly eye lens which is formed from a plurality of rod lenses is put together without the use of adhesive, so that the volatilization of the organic solvents of the adhesives by the application of ultraviolet light and the contamination of the surfaces of the optical elements is prevented, and it is possible to prevent declines or fluctuations in the transmittivity.

CLAIMS

1. An exposure apparatus having an illumination system which applies an exposure energy beam to a mask having a pattern, and a stage system for positioning a substrate to which said pattern of said mask is transferred, characterized in that:

a gas supply apparatus for supplying a gas of a high transmittivity with respect to said exposure energy beam, and having good thermal conductivity, to at least a portion of an optical path of said exposure energy beam, and

a gas recovery apparatus for recovering at least a portion of said gas after said gas is supplied to the optical path of said exposure energy beam from said gas supply apparatus, are provided.

2. An exposure apparatus in accordance with claim 1, wherein said gas is helium.

3. An exposure apparatus in accordance with claim 1, wherein said gas supply apparatus is commonly employed by a plurality of exposure apparatuses.

4. An exposure apparatus in accordance with claim 1, wherein said gas recovered by said gas recovery apparatus is recirculated to the optical path of said exposure energy beam via at least a portion of said gas supply apparatus.

5. An exposure apparatus in accordance with claim 4, wherein said gas supply apparatus comprises:

a concentration meter for measuring the concentration of said gas supplied from said gas recovery apparatus,

a gas source filled with said gas in a gaseous state or a liquefied state, and

a control unit for replenishing gas supplied from said gas recovery apparatus with gas from said gas source in accordance with measurement results of said concentration meter.

6. An exposure apparatus in accordance with claim 1, wherein said gas supply apparatus comprises:

a gas source for conducting liquefied storage or high-pressure storage of said gas,

a conversion apparatus for returning the liquefied gas or high-pressure gas within said gas source to said gas, and

an adjusting apparatus for adjusting temperature and pressure of said gas prior to supplying said gas from said gas source to said exposure apparatus.

7. An exposure apparatus in accordance with claim 1, wherein said gas recovery apparatus liquefies said recovered gas or highly pressurizes it and stores it.

8. An apparatus for manufacturing devices characterized in having a plurality of exposure apparatuses including the exposure apparatus of claim 1, and in overlaying and

transferring a plurality of device patterns onto a substrate which is exposed and manufacturing microdevices.

9. An exposure apparatus which illuminates a mask with a predetermined exposure energy beam and transfers a pattern formed in said mask onto a substrate, characterized in that:

a gas-controlled drive apparatus is provided which conducts predetermined operations using a first gas for control,

a second gas having good transmittivity is supplied to at least a portion of the optical path of said exposure energy beam, and

a gas of the same type as said second gas is employed as said first gas for said gas-controlled drive apparatus.

10. An exposure apparatus in accordance with claim 9, wherein said gas-controlled drive apparatus comprises a stage apparatus which makes contact with guide surfaces by the gas bearing method, a gas-type cylinder apparatus, or a vibration isolation platform using gas as a portion of the shock absorbing material.

11. An exposure apparatus in accordance with claim 9, wherein, when said exposure energy beam is ultraviolet light having a wavelength of 250 nm or less, nitrogen or helium is used as said second gas.

12. An exposure apparatus in accordance with claim 9, wherein, when said exposure energy beam is ultraviolet light having a wavelength of 200 nm or less, helium is used as said second gas.

13. An exposure apparatus in accordance with claim 9, wherein, when said exposure energy beam is an X ray, nitrogen or helium is used as said second gas.

14. An exposure apparatus comprising:

an illumination optical system, having a plurality of optical elements supported by supporting members, which applies illumination light from an illumination light source to a mask having a pattern, and

a projection optical system, having a plurality of optical elements supported by supporting members, which projects an image of a pattern on said mask onto a photosensitive substrate, characterized in that:

all said optical elements are supported by said supporting members using push-attachment mechanisms without the use of adhesive.

15. An exposure apparatus in accordance with claim 14, wherein said push-attachment mechanisms comprise flat springs having one end thereof affixed to an inner circumferential part of said support members, and at another end, press against an outer circumferential part of said optical elements.

16. An exposure apparatus in accordance with claim 14, wherein said push-attachment mechanisms comprise screw rings which screwably attach to a screw part provided in an inner circumferential part of said support members and which are screwably advanced and press against an outer circumferential part of said optical elements.

17. An exposure apparatus comprising:

an illumination optical system, having a plurality of optical elements including a fly-eye lens bundling a plurality of rod lenses, which applies illumination light from an illumination light source to a mask, and

a projection optical system, having a plurality of optical elements supported by supporting members, which projects an image of a pattern on said mask onto a photosensitive substrate, characterized in that:

said plurality of rod lenses are bundled by a support apparatus without the use of adhesive.

18. A manufacturing method for apparatuses wherein an exposure energy beam is applied to a mask and a substrate is exposed by said exposure energy beam via said mask, comprising:

a supply pipe for supplying a gas for reducing attenuation of said exposure energy beam is connected to a gas chamber which seals, in an essentially airtight manner, at least a portion of the optical path of said exposure energy beam; and

a recovery pipe for recovering at least a portion of the gas supplied to said gas chamber is connected to at least one of said gas chamber and a housing in which said gas chamber is disposed.

19. A manufacturing method for exposure apparatuses in accordance with claim 18, comprising said recovery pipe is connected to a removal apparatus for removing impurities from recovered gas, and said removal apparatus and said supply pipe are connected.

20. A manufacturing method for exposure apparatuses in accordance with claim 18 further comprising optical elements which said exposure energy beam passes are affixed to supporting members without using adhesive, and are assembled into said exposure apparatus.

21. A manufacturing method for exposure apparatuses in accordance with claim 18 further comprising a gas-controlled drive apparatus which is provided in said exposure apparatus and which employs a gas having optical characteristics which are essentially identical to those of said gas is connected with said gas supply source.

ABSTRACT

An exposure apparatus having an illumination system which applies an exposure energy beam to a mask on which a pattern for transfer is formed, and a stage system for positioning a substrate to which the pattern of the mask is transferred, is characterized in that: a gas supply apparatus for supplying a gas of a high transmittivity with respect to the exposure energy beam, and having good thermal conductivity, to at least a portion of an optical path of the exposure energy beam, and a gas recovery apparatus for recovering at least a portion of the gas after the gas is supplied to the optical path of the exposure energy beam from the gas supply apparatus, are provided.

FIG. 1

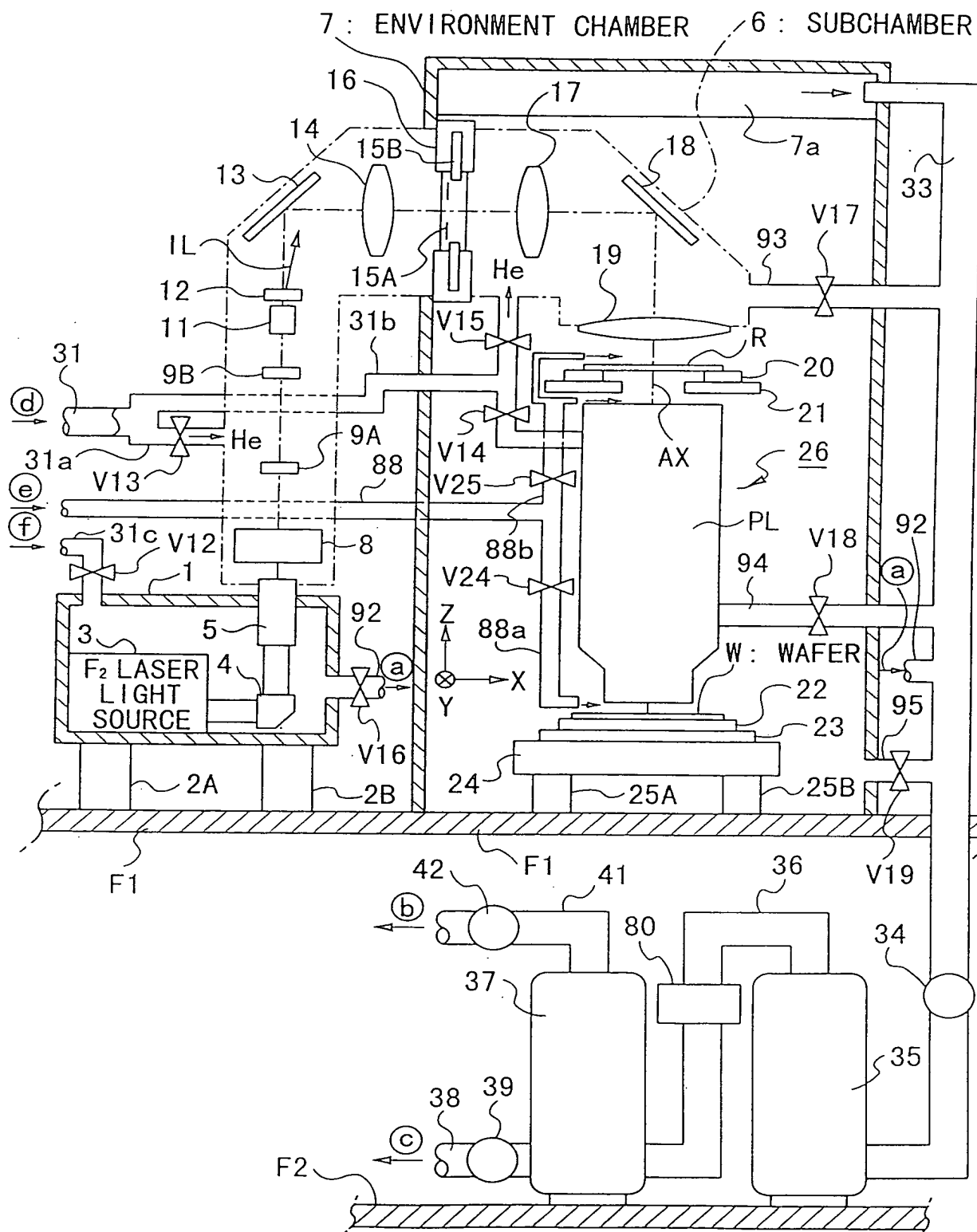


FIG. 2

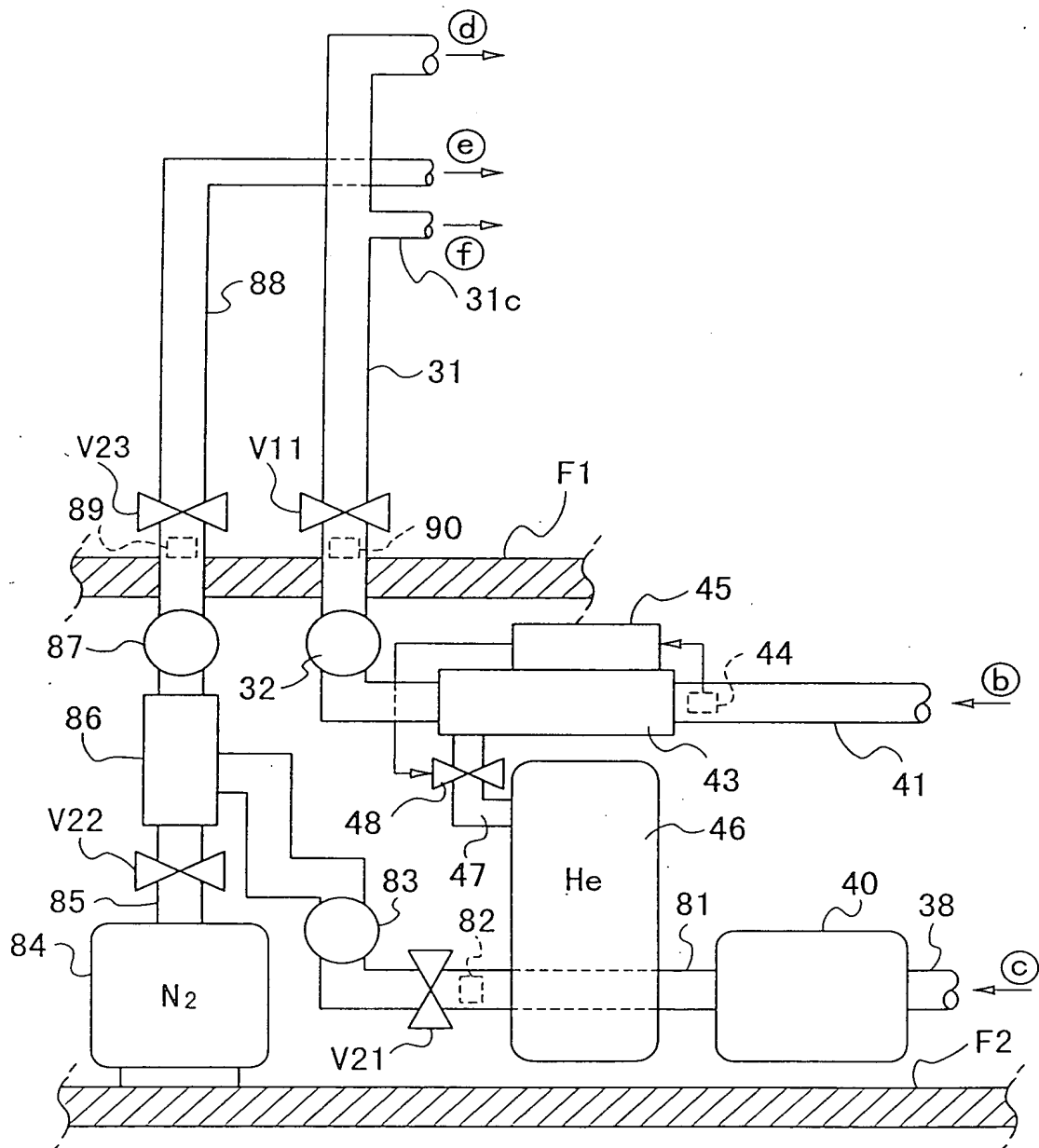


FIG. 3

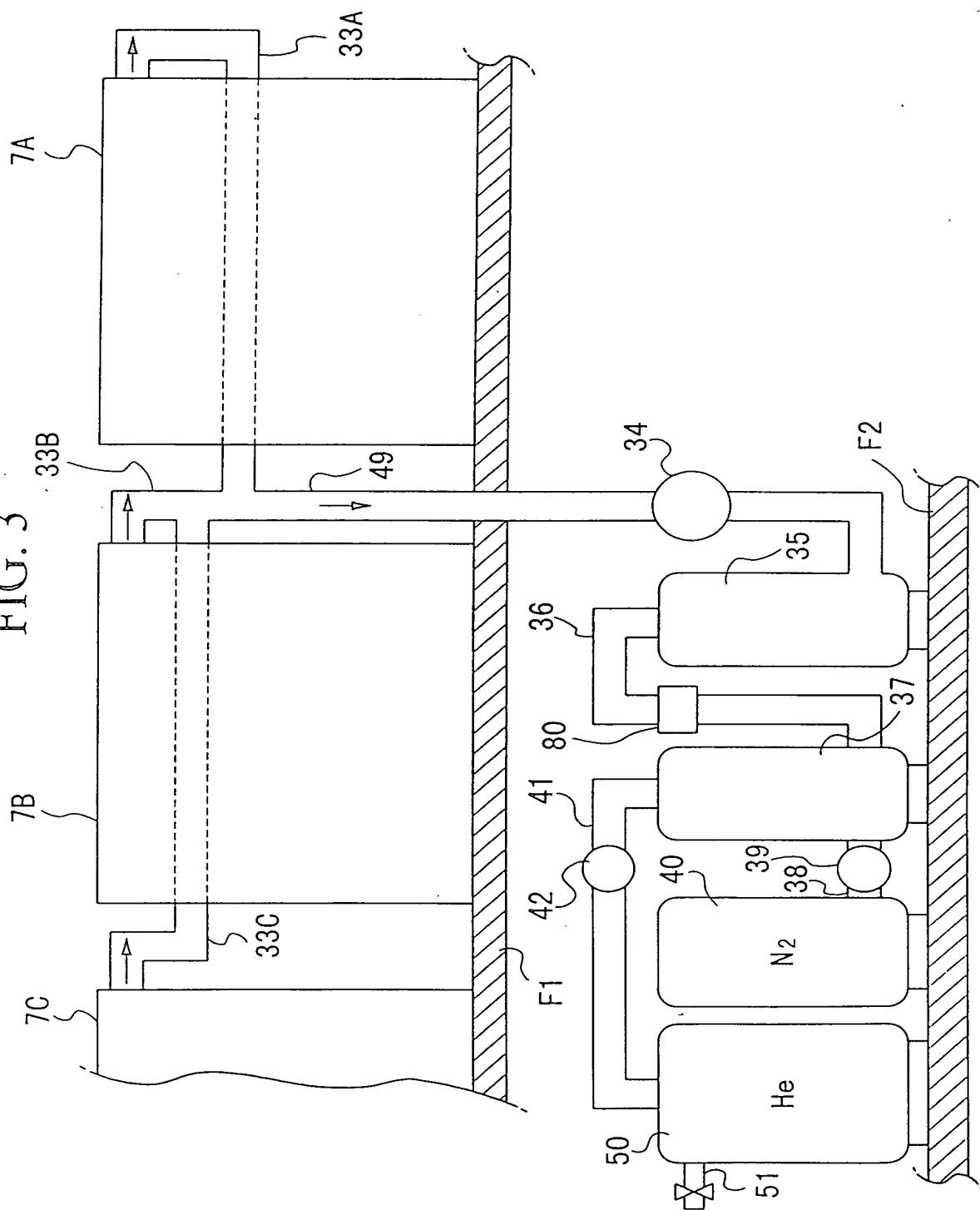


FIG. 4

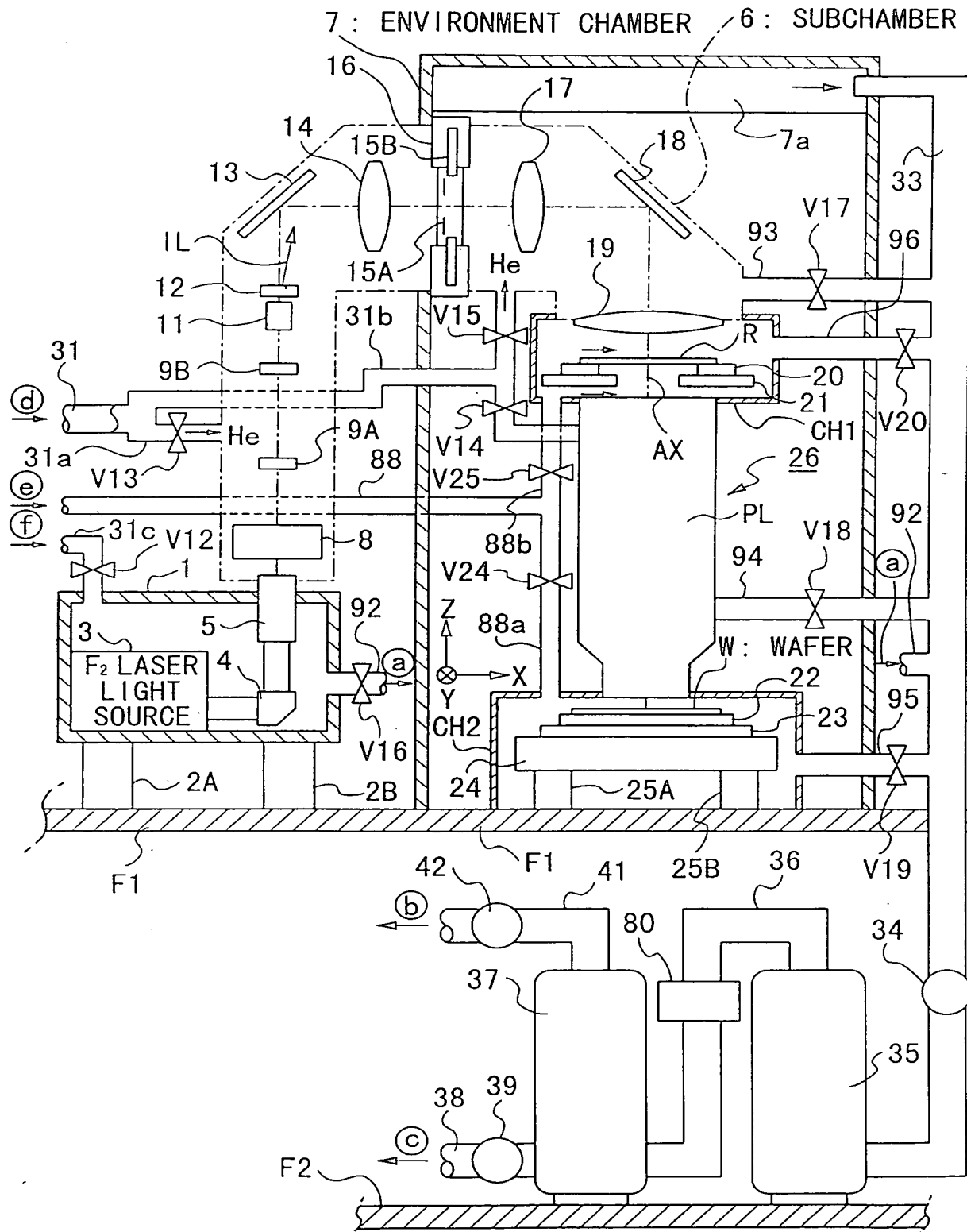


FIG. 5

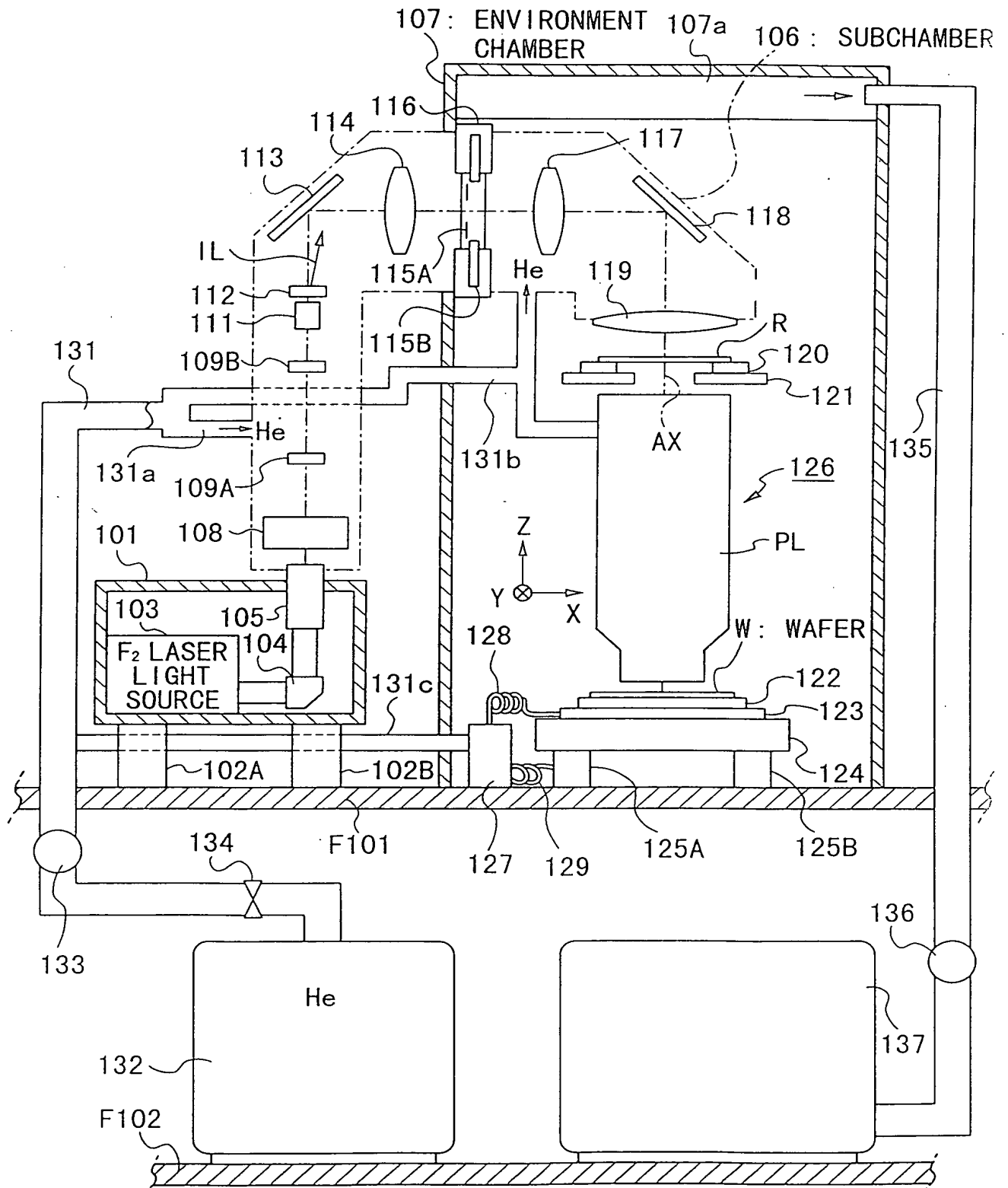


FIG. 6

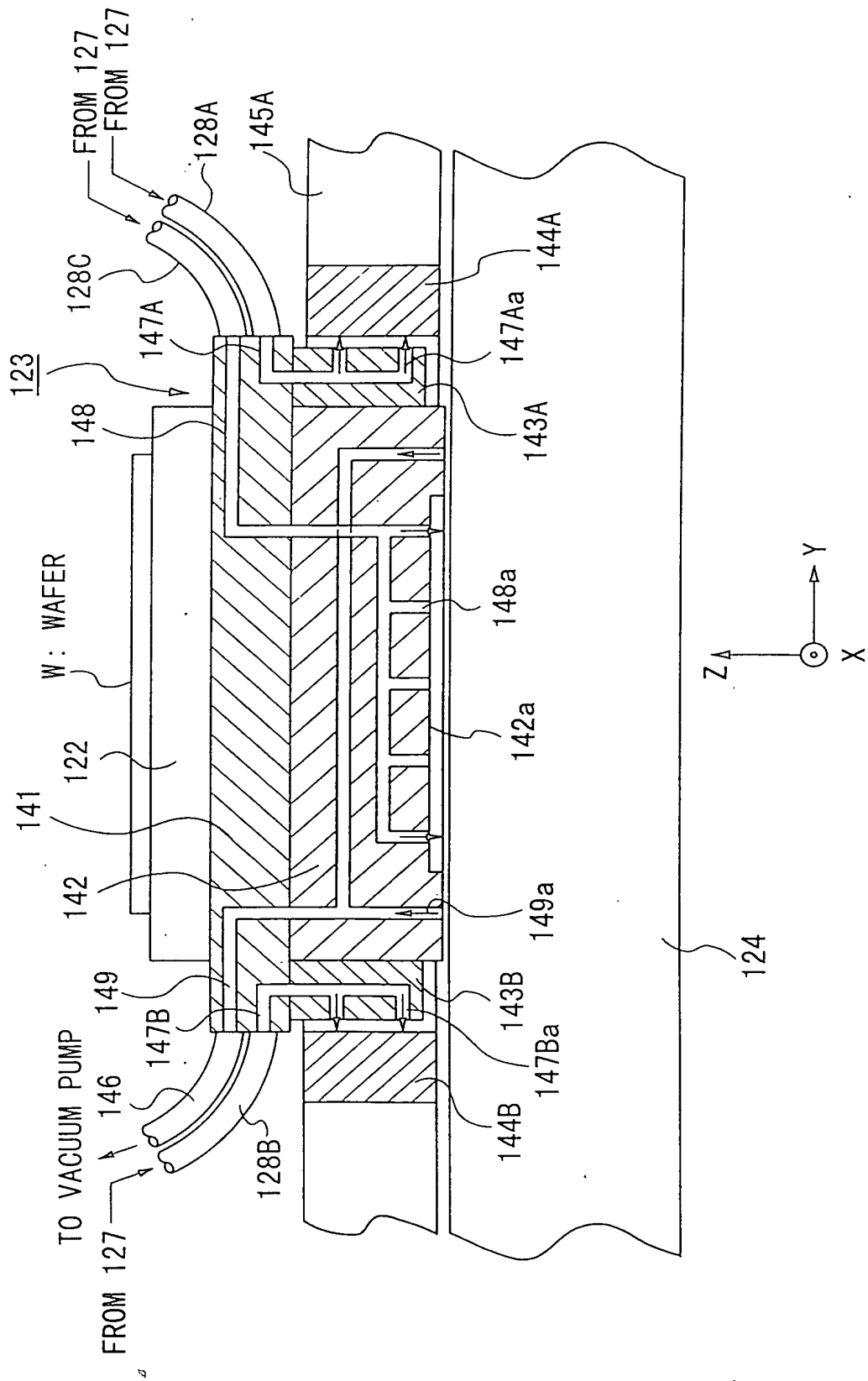


FIG. 7

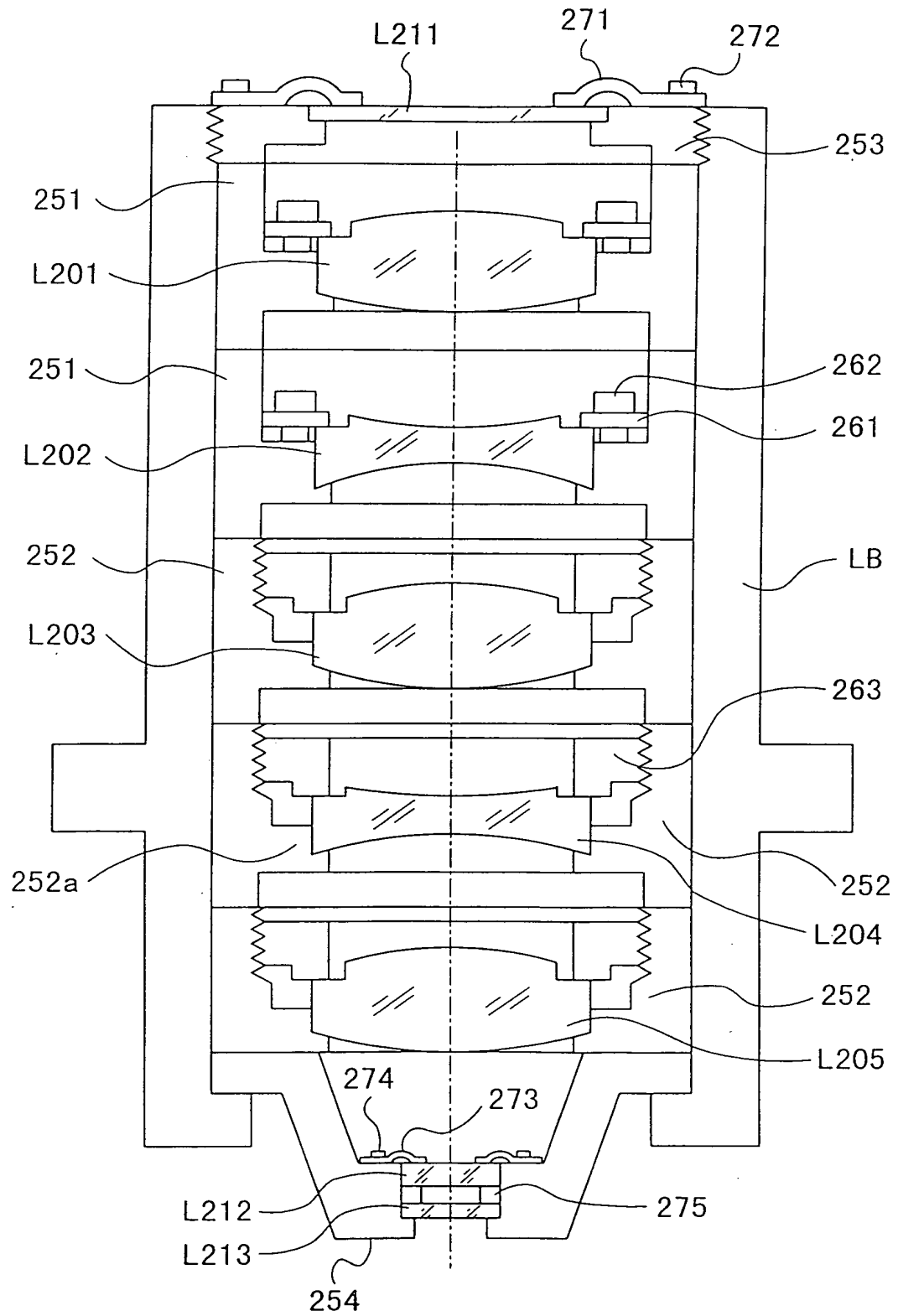
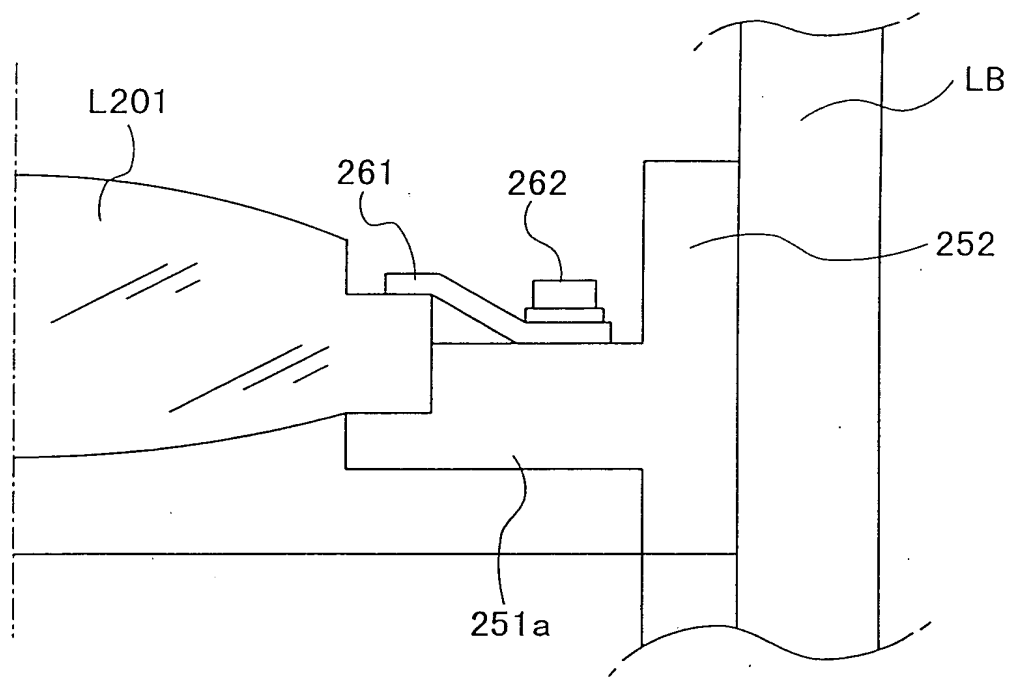


FIG. 8



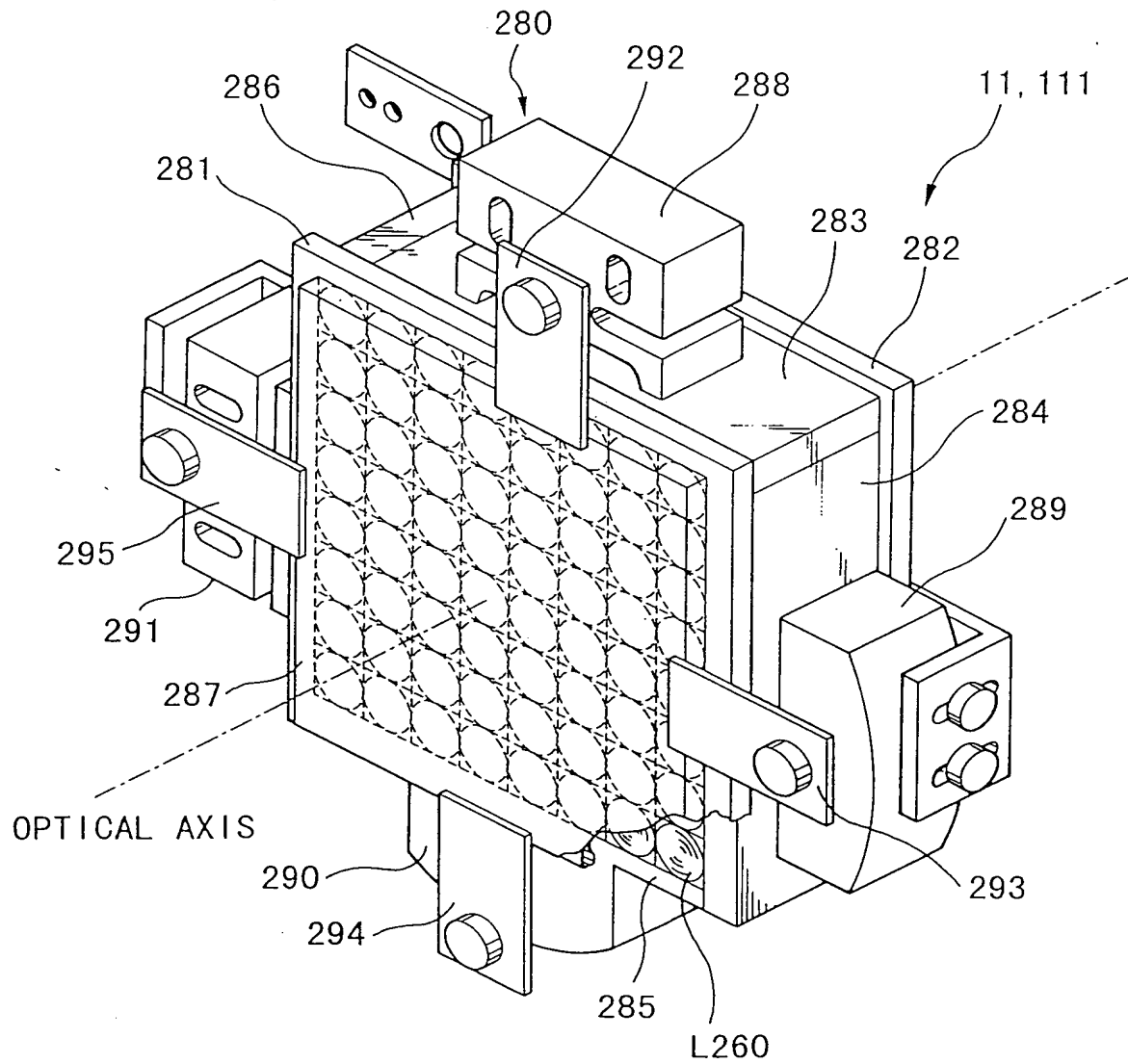


FIG. 10A

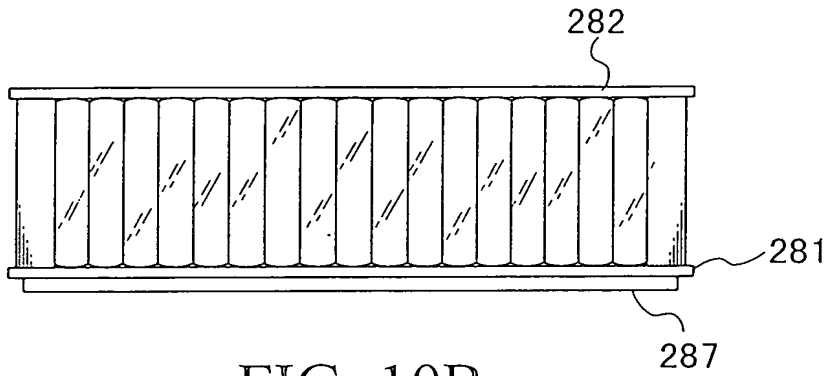


FIG. 10B

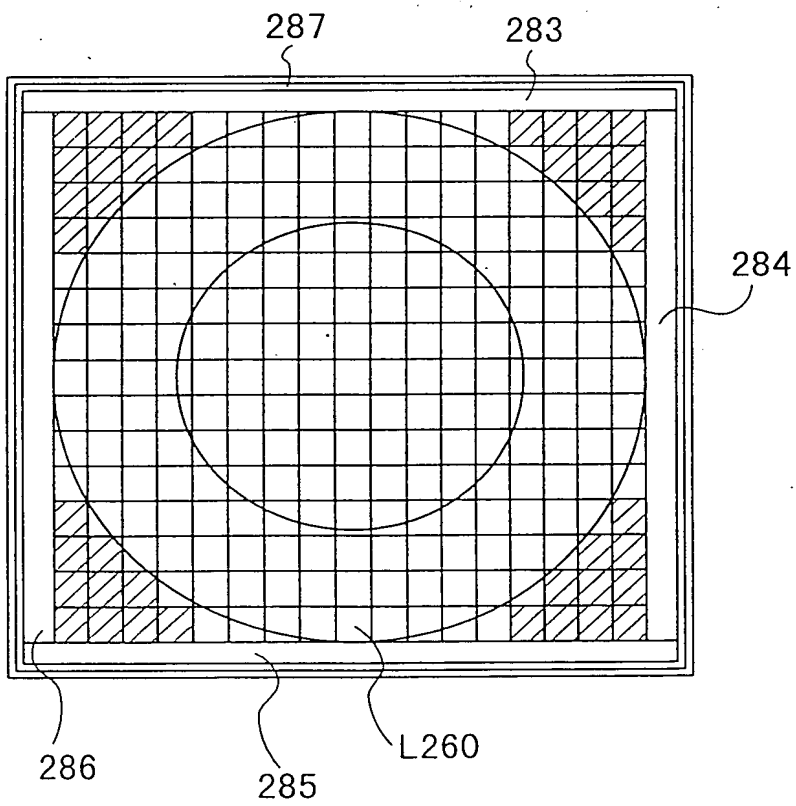
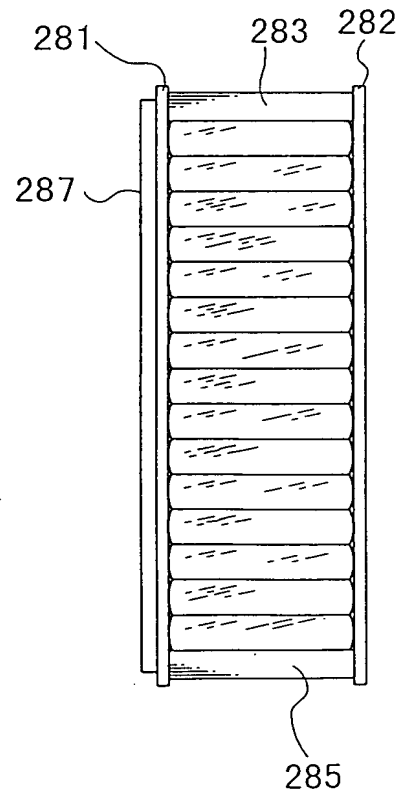


FIG. 10C



THIS PAGE BLANK (USPTO)